JUN 19 192

# Physikalische Zeitschrift

begründet von E. Riecke und H. Th. Simon

vereinigt mit dem

## Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik

begründet von Johannes Stark

Herausgeber:

Prof. Dr. P. Debye, Prof. Dr. F. Harms und Prof. Dr. R. Seeliger

Die Physikalische Zeitschrift erscheint monatlich zweimal im Umfange von drei bis vier Bogen und wird vierteljährlich für Goldmark 11.— postfrei geliefert. Für das Ausland beträgt der Preis $ 3.— vierteljährlich. Für die Mitglieder der Deutschen Physikalischen Gesellschaft im Inland Goldmark 9.—, im Ausland $ 2.60. Bestellungen nehmen jede Buchhandlung sowie die Verlagsbuchhandlung entgegen. Anzeigen werden für die einmal gespaltene Millimeterzeile mit Goldmark —.30, Beilagen mit Goldmark 60.— berechnet.

**Alle Manuskripte und darauf bezügliche Zuschriften sind an Prof. Dr. F. Harms, Würzburg, Bismarckstr. 1, zu senden, mit Ausnahme der zusammenfassenden Berichte, deren Redaktion Prof. Dr. R. Seeliger, Greifswald, Loitzerstr. 43, führt. Büchersendungen und Anzeigen-Aufträge direkt an den Verlag.**

No. 9. | Ausgegeben am 23. Mai 1925. No. 685. Printed in Germany. | 26. Jahrgang.

## INHALT:

**Originalmitteilungen:**

Chr. Füchtbauer u. E. Holm, Über ultraviolette Absorptionsbanden des Sauerstoffs in ihrer Temperaturabhängigkeit und über ein kurzwelliges Jodspektrum.

E. Schrödinger, Über Farbenmessung.

Theod. Wulf, Eine Umkonstruktion des Zweifadenelektrometers.

Theod. Wulf, Ein Zylinderkondensator zur Messung kleiner Kapazitäten.

**Zusammenfassende Berichte:**

Georg Joos, Bericht über spektroskopische Nachweise von Isotopen und die Frage des Zusammenhangs zwischen den Isotopen und den Trabanten von Spektrallinien.

**Besprechungen:**

L. Lichtenstein, Neuere Entwicklung der Theorie partieller Differentialgleichungen zweiter Ordnung vom elliptischen Typus.

F. Auerbach, Die Methoden der theoretischen Physik.

P. Walden, Das Leitvermögen der Lösungen.

Dionys von Milhály, Das elektrische Fernsehen und das Telehor.

H. Weyl, Mathematische Analyse des Raumproblems.

J. Rosenthal, Praktische Röntgenphysik und Röntgentechnik.

G. Bucky, Die Röntgenstrahlen und ihre Anwendung.

**Personalien. Gesuche.**

VERLAG VON S. HIRZEL IN LEIPZIG

# Spindler & Hoyer

G. m. b. H.

Mechanische und Optische Werkstätten

## Göttingen 3.

**Demonstrationsapparate zur Hydrodynamik**
**nach Prof. R. Pohl**

**Stromlinienapparat**
**wie Abbildung**

**Schleppversuch-Apparat**

Preislisten kostenlos

Neuste Konstruktion!

*Kugelepiskop. D.R.P. 250314.*

# Franz Schmidt & Haensch

**Berlin S. 42,** Prinzessinnenstraße 16

## Werkstätten für Präzisions-Mechanik und Optik.

**Neue optische Spezialinstrumente eigener Konstruktion, Polarisations-, Spektral-, Projektionsapparate, Episkope u. a.**

Preislisten kostenlos.

# PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

vereinigt mit dem

## JAHRBUCH DER RADIOAKTIVITÄT UND ELEKTRONIK

No. 9. | 1. Mai 1925. | 26. Jahrgang.

Redaktionsschluß für No. 11 am 10. Mai 1925.

INHALT:

**Originalmitteilungen:**
Chr. Füchtbauer u. E. Holm, Über ultraviolette Absorptionsbanden des Sauerstoffs in ihrer Temperaturabhängigkeit und über ein kurzwelliges Jodspektrum. S. 345.
E. Schrödinger, Über Farbenmessung. S. 349.
Th. Wulf, Eine Umkonstruktion des Zweifadenelektrometers. S. 352.
Th. Wulf, Ein Zylinderkondensator zur Messung kleiner Kapazitäten. S. 353.

**Zusammenfassende Berichte:**
G. Joos, Bericht über spektroskopische Nachweise von Isotopen und die Frage des Zusammenhangs zwischen den Isotopen und den Trabanten von Spektrallinien. S. 357.

**Besprechungen:**
L. Lichtenstein, Neuere Entwicklung der Theorie partieller Differentialgleichungen zweiter Ordnung vom elliptischen Typus. S. 362.
F. Auerbach, Die Methoden der theoretischen Physik. S. 362.
P. Walden, Das Leitvermögen der Lösungen. S. 363.
Dionys v. Mihály, Das elektrische Fernsehen und das Telehor. S. 363.
H. Weyl, Mathematische Analyse des Raumproblems. S. 363.
J. Rosenthal, Praktische Röntgenphysik und Röntgentechnik. S. 364.
G. Bucky, Die Röntgenstrahlen und ihre Anwendung. S. 364.

**Personalien.** S. 364.

**Gesuche.** S. 364.

# ORIGINALMITTEILUNGEN.

## Über ultraviolette Absorptionsbanden des Sauerstoffs in ihrer Temperaturabhängigkeit und über ein kurzwelliges Jodspektrum.

Von Chr. Füchtbauer u. E. Holm.

### a) Sauerstoffbanden.

Durch Arbeiten Schumanns u. a. waren ultraviolette Sauerstoffbanden unterhalb 2000 A.E. bekannt. Gelegentlich der Untersuchung der Absorption des in Atome dissoziierten Jodes beobachteten wir, daß man durch Erhitzen auch oberhalb 2000 A.E. Absorptionsbanden des Sauerstoffs erhält[1]), und zwar waren dieselben auf unseren Platten gut aufgelöst (etwa mit Ausnahme der ersten 2 oder 3 Linien an der Kante).

### Versuchsanordnung.

Die Versuchsanordnung war folgende. Eine große Kapazität von etwa 153000 cm, die aus Glasplatten mit Aluminiumzwischenlage hergestellt war und in Öl lag, entlud sich durch eine Zinkfunkenstrecke. Der Kondensator wurde durch einen Resonanzinduktor der Firma Hans Boas aufgeladen, dessen Primärspule von Wechselstrom durchflossen war, und zwar fand die Resonanz bei etwa 70 Perioden statt. Natürlich mußte man zur Erreichung guten Löschens des Funkens den Kondensator so anordnen, daß die Zuleitungen zur Funkenstrecke möglichst kurz wurden und daher eine recht kleine Selbstinduktion hatten. Der Zinkfunke wurde durch Quarzflußspatachromate in ein im elektrischen Ofen liegendes Quarzrohr abgebildet und von da auf den Spalt des Spektrographen. Dieser im Institut gebaute Quarzspektrograph war mit zwei Zeißschen 2-linsigen Quarzobjektiven und einem Cornuprisma ausgerüstet und gab sehr scharfe Linien. Man erhielt auf diese Weise eine Dispersion von etwa 2,7—3 A.E. pro mm auf der schiefgestellten Platte, deren günstigste Neigung sorgfältig ausprobiert wurde. Die Platten stellten wir nach Schumanns Rezept her.

Das Quarzrohr war mit Quarzplatten verschlossen und wurde mit Sauerstoff von etwas über Atmosphärendruck gefüllt. Der Sauerstoff wurde elektrolytisch hergestellt, wobei das U-Rohr an der Wasserstoffseite noch eine Spülelektrode besaß; der an dieser entwickelte Sauerstoff spült den Wasserstoff weg und hindert ihn, durch Diffusion nach der Seite des verwendeten Sauerstoffs zu gelangen. Dieser wurde sorgfältig mit Phosphorsäure getrocknet und hatte immer einen kleinen Überdruck, so daß selbst dann keine Verunreinigung durch Luft hätte erfolgen können, wenn eine kleine Undichtigkeit entstanden wäre. Um jede Verunreinigung, etwa durch die heiße Gefäßwand, auszuschließen, wurde der Sauerstoff dauernd in ganz langsamem Strom durch das Absorptionsrohr, das aus dem 60 cm langen Ofen beiderseits etwas herausragte, durchgeleitet.

1) Vgl. unsere kurze Notiz, Zeitschr. f. Phys. **29**, 367, 1924.

## Ergebnisse.

Da die Banden mit so gereinigtem Sauerstoff stärker kamen, als bei der nämlichen Temperatur mit feuchter Luft, beweisen die Versuche zunächst, daß die temperaturempfindlichen Banden nicht dem Wasserdampf oder etwa einer Verbindung von Sauerstoff und Stickstoff, sondern dem reinen Sauerstoff angehören.

## Temperatureinfluß.

Die Absorptionsbanden wurden nun bei Temperaturen von 400⁰ bis 1050⁰ photographiert, und zwar zunächst in einem Bereich von etwa 2000 bis 2200 A.E. Es zeigte sich, daß sie an allen Stellen dieses Spektrums bei zunehmender Temperatur rasch an Intensität gewinnen, und daß dabei Banden von immer größerer Wellenlänge auftauchen. Diese Beobachtungen deuteten wir in folgender Weise. Von den drei bei der Absorption gleichzeitig verlaufenden Vorgängen, nämlich Elektronensprung, Änderung der Oszillation der Atome und Änderung der Rotation des Moleküls, brauchen wir hier nur den zweiten näher ins Auge zu fassen. Der Elektronensprung liefert ja den Hauptbestandteil zur Energiedifferenz zwischen Anfangs- und Endzustand und ist dem ganzen Bandensystem gemeinsam, kann also beim Vergleich der einzelnen Banden miteinander unberücksichtigt bleiben. Ferner spielt die Rotation bei dieser Betrachtung keine Rolle, wenn wir die ganzen Banden miteinander vergleichen, oder genauer gesagt, wenn wir immer Linien der nämlichen Rotationsquantenzahl aus den verschiedenen Banden nebeneinander halten. Daher haben wir nur den Sprung der Oszillationsenergie zu betrachten, der ja die einzelnen Banden voneinander unterscheidet. Die Temperatur des Gases kann nur den Anfangszustand der Absorption beeinflussen. Nun sind im statistischen Gleichgewicht Moleküle mit Oszillation bei Zimmertemperatur noch äußerst selten, bei steigender Temperatur wächst ihre Zahl. Zunächst tritt der einquantige, dann allmählich auch die höherquantigen Oszillationszustände bei so vielen Molekülen auf, daß sie sich bei der Empfindlichkeit des Absorptionsversuchs als Ausgangszustände geltend machen. Um nun zu sehen, nach welcher Seite des Spektrums zu diese den höheren Anfangszuständen der Oszillation entsprechenden Banden liegen müssen, fassen wir einmal Banden mit dem nämlichen Endzustand, aber verschiedenen Anfangszuständen des Absorptionsvorganges ins Auge. Dann ist offenbar von einem höherquantigen (energiereicheren) Anfangszustand bis zu diesem bestimmten Endniveau nur noch ein kleinerer Energiesprung nötig, also erscheint eine Bande mit kleinerer Schwingungszahl, als wenn wir vom niedrigeren Niveau ausgehen. Somit erklärt sich das Auftreten von langwelligeren Bandenlinien bei steigender Temperatur durch die Zunahme der Moleküle mit höherer Oszillation, also durch einen Umstand, der auch die Zunahme der spezifischen Wärme des Gases mit steigender Temperatur bewirkt.

Natürlich müssen alle, auch die kurzwelligeren, Banden im oben erwähnten Gebiet, wie beobachtet, beim Erhitzen dauernd an Intensität zunehmen, weil in diesem Gebiet nur Kanten mit einem Null übertreffenden Anfangsquantum der Oszillation liegen; diese haben noch sehr viel zu gewinnen, da der Nullzustand bei solchen Temperaturen noch weitaus der häufigste ist.

Die von uns am Sauerstoff untersuchten Temperatureinflüsse müssen sich ganz allgemein bei Absorptionsbanden geltend machen. Auch die an vielen Flüssigkeiten und festen Körpern beobachtete Tatsache, daß die Absorptionsgebiete beim Erhitzen nach längeren Wellen rücken, wird wohl damit etwas zu tun haben.

## Ausmessung der Banden.

Die Bandenlinien des untersuchten Gebietes wurden mit einem Zeißschen Komparator gemessen. Als Meßmarke wurde eine scharfe Zinklinie benutzt. Diese Zinklinie wurde dann ohne die Absorptionslinien, welche das Bild verwirrt hätten, in das Spektrum eines Kupferfunkens hineinphotographiert, der nach Eders Vorschrift erzeugt war (Induktorium, Kapazität, Selbstinduktion). Und zwar wurden nach jeder zur Ausmessung bestimmten Aufnahme sofort Zinklinie und Kupferlinien auf die nämliche Platte gebracht, um von einer etwaigen kleinen Änderung der Dispersion des Apparates ganz sicher unabhängig zu sein. Die Werte dieser Kupfernormalen wurden einer Arbeit von Eder, Sitzungsber. d. Wiener Akad. **123** (IIa), 622, 1914, entnommen. Sie wurden auf Vakuum reduziert. Die Schwingungszahlen der Bandenlinien, die so mittelst einer Interpolationsformel berechnet wurden, sollen an anderer Stelle mitgeteilt werden.

## Kantenschema.

Man erkennt zwar Andeutungen von Banden, doch laufen die Linien mehrerer Banden im obigen Gebiet derartig durcheinander, daß der typische Eindruck nicht entsteht. Herr Kratzer war so freundlich, die theoretische Bearbeitung des Materials zu übernehmen. Es gelang ihm, die meisten gemessenen Linien in Serien ein-

Tabelle I. Wellenzahlen der Bandenkanten von Sauerstoff.

| $n$ \ $n'$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | $n'$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 50 724 | 51 367 | 51 984 | 52 575 | 53 136 | 53 667 | 54 166 | 54 626 | |
| 1 | | | | 51 018 | 51 583 | 52 113 | 52 613 | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | | | | 47 965 | 48 528 | 49 062 | 49 557 | | |
| 4 | | | | 46 480 | 47 043 | 47 578 | 48 072 | | |
| 5 | | | | 45 011 | 45 578 | 46 114 | | | |
| $n$ | | | | | | | | | |

$n$ ist die Oszillationsquantenzahl des Anfangszustandes der Absorption, $n'$ diejenige des Endzustandes. Die letzte gemessene Kante hat die Wellenlänge 1830,6 A.E.

zuordnen. Durch Methoden, die später im einzelnen beschrieben und an Beispielen erläutert werden sollen, konnte er in sämtlichen Banden die Linien, die zur nämlichen Rotationsquantenzahl gehören, festlegen. Deshalb würden wir am genauesten die einzelnen Banden durch je eine dieser korrespondierenden Linien charakterisieren. Wir ziehen es aber trotzdem vor, in der nachfolgenden Tabelle die Kanten anzugeben. Bei deren Wellenzahlen ist die letzte Ziffer unsicher.

In der Tabelle I bedeutet $n$ die Oszillationsquantenzahl des Anfangszustandes der Absorption (also des natürlichen Zustandes im unerregten Sauerstoff), $n'$ diejenige des Endzustandes der Absorption. In das Kantenschema konnten auch die schon von E. und L. Bloch (Comptes Rendus **158**, 1161, 1914) und von J. Duclaux und P. Jeantet (Comptes Rendus **173**, 581, 1921) gefundenen Banden, die an Sauerstoff bei Zimmertemperatur gemessen sind, eingeordnet werden. Sie stehen in den Zeilen $n=0$ und $n=1$. Um nun auch in diesem Gebiet unter 2000 A.E. wenigstens die Kanten selbst nachzuprüfen, benutzten wir einen kleinen Quarzspektrographen, dessen Brennweite hier 15 cm betrug. Als kontinuierliche Lichtquelle, welche in diesem Fall ohne Abbildung vor den Spalt gebracht wurde, diente die nämliche Röhre, die wir auch für das Linienspektrum des Jodes benutzten. Der mit Innenelektroden erregte Joddampf gab ein ziemlich starkes kontinuierliches Spektrum, wobei die wenig zahlreichen Linien nicht störten[1]). Für die Absorption kam also bei unseren Versuchen unter 2000 A.E. der in der Luftstrecke von etwa 60 cm Länge, die im Spektrographen durchlaufen wurde, enthaltene Sauerstoff von Zimmertemperatur in Betracht. Die Wellenlängen bezogen wir wiederum auf Eders Kupferlinien und benutzten wie Eder die für die geringen Lücken durchaus genügende Interpolationsformel $\lambda=\lambda_0+\frac{C}{s-s_0}$, wo $s$ die gemessenen Abstände auf der Platte sind. Im Gebiet von 1880 bis 1820 benutzten wir die Eisenlinien von Millikan als Standards. Unter 1820 A.E. konnte nicht beobachtet werden, doch hoffen wir, mit anderen Mitteln die Aufnahmen bis zu noch kürzeren Wellenlängen ausdehnen zu können. Auf diese Weise bestätigten wir fast alle von den französischen Forschern gefundenen Banden und konnten noch zwei neue kurzwelligere messen, mit den Kanten $\nu=54\,166$ und $54\,626$. In diesem Gebiet sind (im Gegensatz zu den durch Erhitzen zugänglich gemachten langwelligeren) die einzelnen nach Rot abschattierten Banden gut voneinander getrennt und deshalb sofort erkennbar.

Zur Tabelle I bemerken wir, daß streng genommen nur die Differenzen der Quantenzahlen ganz sicher durch das Experiment gegeben sind, d. h. zu den $n$ und $n'$ könnte noch eine (sehr kleine) ganze Zahl hinzukommen; indes scheint es wahrscheinlich, daß die 1. Zeile wirklich $n=0$ enthält. Die richtige Anordnung des Kantenschemas wird gewährleistet durch die Forderung, daß die Differenzen zwischen je zwei untereinander stehenden Zahlen zweier Horizontalreihen von $n'$ unabhängig sein müssen; ebenso müssen die Differenzen nebeneinander stehender (also gleichem $n$ zugehöriger) Glieder zweier Vertikalspalten von $n$ unabhängig sein. Beides ist durchaus innerhalb der Fehlergrenzen erfüllt. Betrachten wir z. B. die Zeilen $n=3$ und $n=4$, so sind die fraglichen Differenzen 1485, 1485, 1484 und 1485; oder z. B. die Kolumnen $n'=4$ und $n'=5$, so sind die Differenzen je zwei nebeneinander stehender Zahlen 531, 530, 534, 535, 536, wobei die beiden ersten in dem mit dem kleineren Apparat gemessenen Gebiet unter 2000 A.E. liegen.

Nachdem die Banden so durch Herrn Kratzer eingeordnet sind, kann man nun die Temperaturabhängigkeit mehr im einzelnen verfolgen und zeigen, daß die oben gegebene Deutung

1) Wie wir aus der kürzlich erschienenen Festschrift des Physikal. Vereins Frankfurt ersehen, benutzte auch Gerlach zur Erzeugung kontinuierlichen Lichtes Jodröhrchen, allerdings von anderer Form und mit Außenelektroden.

richtig war. Bei Zimmertemperatur erhalten wir mit der kurzen Luftstrecke nur die Banden der Zeile $n = 0$. Da von einer darüberliegenden Zeile, die besonders stark hätte sein müssen, nichts gefunden wurde, entsprechen die Banden dieser Zeile $n = 0$ wahrscheinlich wirklich der Oszillation 0, die beim Sauerstoff bei Zimmertemperatur weit überwiegen muß. Die Kanten $n = 1$ sind von den französischen Forschern mit langen Sauerstoffwegen erhalten worden, entsprechend dem seltenen Vorkommen von $n = 1$ in nichterhitztem Sauerstoff. Das Gebiet der für die Zeile $n = 2$ günstigen Temperaturen haben wir aus rein zufälligen Gründen bisher nicht untersucht. Die französischen Forscher, die bei Zimmertemperatur arbeiteten, konnten dies natürlich nicht bekommen. Mit $n = 3$ betreten wir das von uns hauptsächlich untersuchte Gebiet. Während die Bandenlinien der Zeile $n = 3$ in einer Aufnahme bei 440° schon deutlich bis sehr stark auftreten, wurden diejenigen der Zeile $n = 4$ erst bei 500 bis 600° und die der Zeile $n = 5$ erst bei etwa 700° entsprechend stark erhalten. Natürlich hätten beliebig mehr Banden durch noch stärkeres Erhitzen[1]) herausgebracht werden können, doch schien das vorläufig kein Interesse mehr zu bieten, da ja obiges Material reichlich zur Klarstellung des Sachverhaltes genügt.

Auch ein und dieselbe Aufnahme (also der Vergleich je zweier Banden bei der nämlichen Temperatur) zeigt die vermuteten Eigenschaften. Z. B. ist die Bande 48528 stärker als 47578, d. h. der Übergang $3 \rightarrow 4$ ist häufiger als $4 \rightarrow 5$, weil eben der niedrigere Anfangszustand 3 der häufigere ist. Ebenso ist 48528 stärker als 47043, d. h. der Übergang $3 \rightarrow 4$ ist auch häufiger als $4 \rightarrow 4$.

Zur weiteren Verfolgung veranlassen uns besonders die merkwürdigen Intensitätsbeziehungen der Zeile $n = 0$. Diese Banden, die mit Ausnahme der ersten alle auf unsern Aufnahmen bei Zimmertemperatur vorhanden sind, nehmen, wie es scheint, nach kurzen Wellen an Intensität zu, also wäre bei gleichem Anfangszustand der Sprung nach der höheren Oszillation in diesem Bereich wahrscheinlicher. Doch möchten wir erst das Photometrieren der Platten und die weitere Fortsetzung der Sache nach kürzeren Wellen abwarten, bevor wir über die Intensitätsbeziehungen berichten.

Schließlich betrachten wir noch die Zahlenwerte der Differenzen. Ist $\nu_0$ die Wellenzahl der Grundschwingung im Anfangszustand, $\nu'_0$ diejenige im Endzustand, so ist $\nu_0 n$ die Wellenzahl des $n$ten Quantenzustandes der Oszillation, also wird $\nu_0$ gefunden als Differenz der Wellenzahlen zweier untereinanderstehenden Horizontalreihen, denn deren $n$ unterscheiden sich ja um Eins. Ebenso finden wir die Grundfrequenz $\nu_0'$ des Endzustandes als Differenz der nebeneinanderstehenden Glieder zweier Vertikalkolumnen. Nun fällt es nach Kratzer auf, daß $\nu_0$ und $\nu_0'$ so außerordentlich verschieden sind wie in keinem bisher untersuchten Bandenspektrum. $\nu_0$ ist nämlich von der Größenordnung $1500\ \mathrm{cm}^{-1}$, $\nu_0'$ von der Größenordnung 500. Der Elektronensprung lockert hier also die gegenseitige Bindung der Atome sehr stark, denn bei der unveränderten Masse der Atome rührt die kleinere Schwingungzahl von schwächerer Bindung her. Diese Lockerung der Bindung muß sich aber auch im Abstand der Gleichgewichtslagen zeigen, um welche die Atome schwingen, d. h. in einer sehr großen Verschiedenheit der Trägheitsmomente $J$ bzw. $J'$ im Anfangs- und Endzustand. In der Tat ergibt sich so aus der starken Verschiedenheit der Größen $\frac{1}{J}$ und $\frac{1}{J'}$, deren Differenz den Abstand der Bandenlinien regelt, ein großer Wert der Differenz $\frac{1}{J} - \frac{1}{J'}$, also ein großer Abstand.

**b) Kurzwelliges Linienspektrum des Jodes.**

Kürzlich[1]) stellten wir fest, daß die Jodlinie 2062,25, welche Oldenberg als besonders stark aufgefallen war, wirklich eine Absorptionslinie des Jodatoms ist. Wir untersuchten nun das kurzwellige Emissionsspektrum des Jodes unter verschiedenen Bedingungen. Durch eine mit einer Quarzplatte verschlossene Geißlerröhre mit Innenelektroden wurde eine Kapazität von etwa 5000 cm unter Vorschaltung von Selbstinduktion entladen. Ein mit Wechselstrom betriebenes Induktorium diente zum Aufladen der Kapazität. Um die passende Spannung an der Röhre zu erhalten, regelten wir den Joddampfdruck durch die Temperatur. Die Röhre die eine Kapillare von etwa 1,5 mm Weite besaß, wurde in der Längsrichtung, meist ohne Abbildung, nahe vor den Spalt gestellt. Wir erhielten so ein ziemlich kompliziertes Linienspektrum des Jodes. Den über 2000 A.E. gelegenen Teil desselben, den wir mit dem großen Spektrographen von 2180 bis 1990 A.E. photographiert und genau ausgemessen haben, wollen wir an anderer Stelle

1) Vgl. auch v. Wartenberg, Phys. Zeitschr. 11, 1168, 1910. Er beobachtete mit der lichtelektrischen Methode nichtaufgelöste Sauerstoffabsorption noch bis $300\,\mu\mu$ beim Erhitzen auf 1700°.

1) Chr. Füchtbauer, F. Waibel und E. Holm. Über eine Absorptionslinie des Jodatoms. Zeitschr. f. Phys. **29**, 367, 1924.

mitteilen. In der Tabelle II geben wir nur diejenigen Jodlinien, welche unterhalb 2016 A.E. liegen. Sie wurden mit dem vorhin erwähnten kleinen lichtstarken Quarzspektrographen bei 1/100 mm Spaltweite aufgenommen. Die Dispersion (durchschnittlich 11 A.E. pro mm) war zwar nicht groß, doch waren die Linien auf den Schumannplatten sehr scharf (Breite meist nicht über 2/100 mm), so daß eine genaue Ausmessung möglich war. In der Tabelle geben wir die Wellenlängen, auf Vakuum reduziert, und die natürlich nur ganz roh geschätzten Intensitäten, die durch Ziffern von 1 bis 5 bezeichnet sind. Bei dieser Schätzung muß man aber bedenken, daß bei den letzten Linien die beobachtete Intensität durch die zunehmende Absorption der Luft und auch des Quarzes geschwächt ist.

Tabelle II.

Kurzwellige Jodlinien.

| $\lambda$ | $i$ | $\lambda$ | $i$ |
|---|---|---|---|
| 2016,5 | 1 | 1940,5 | 1 |
| 06,7 | 1 | 39,8 | 1 |
| 1999,8 | 1 | 38,9 | 4 |
| 98,8 | 1 | 38,0 | 2 |
| 95,8 | 1 | 33,1 | 3 |
| 82,8 | 4 | 31,9 | 3 |
| 81,2 | 4 | 28,7 | 1 |
| 80,0 | 2 | 15,1 | 4 |
| 79,4 | 4 | 06,1 | 3 |
| 74,9 | 1 | 1897,2 | 3 |
| 73,0 | 2 | 95,2 | 3 |
| 72,3 | 5 | 82,2 | 1 |
| 65,2 | 1 | 76,0 | 5 |
| 61,5 | 1 | 74,0 | 2 |
| 57,1 | 1 | 68,8 | 1 |
| 54,6 | 4 | 62,8 | 2 |
| 44,2 | 3 | 44,3 | 1 |
| 41,1 | 1 | 30,5 | 0 |

Die $\lambda$ sind auf Vakuum reduzierte Wellenlängen in A.E., $i$ bedeutet die geschätzte Stärke der Linien auf der Platte.

Dieses linienreichere Spektrum erschien, wie bemerkt, bei Verwendung stark kondensierter Entladung, es könnte also ganz oder zum großen Teil ein Funkenspektrum sein. Schickten wir dagegen den vom Induktorium gelieferten Strom direkt, ohne Kondensator, durch die Geißlerröhre, wobei der Joddampfdruck zweckmäßig einige Zehntel mm betrug und die Spannung an der Röhre daher ziemlich gering war, so erhielten wir 4 Jodlinien allein. Es sind dies außer der weit überexponierten Linie 2062,25 A.E. noch die weiteren Linien 1876,0 A.E., 1844,3 A.E. und 1830,5 A.E. Die Linien nehmen an Intensität nach kurzen Wellen zu stark ab. Es sieht so aus, als ob man eine Serie (und zwar die Absorptionsserie) vor sich hätte, deren Glieder sich viel schneller, als das sonst der Fall ist, einer (bei ungefähr 1800 A.E. liegenden) Grenze nähern.

Der Helmholtz-Gesellschaft, der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft und dem Elektrophysikausschuß möchten wir für die Unterstützung dieser Arbeit auch hier unsern ergebensten Dank abstatten.

Zusammenfassung.

Es wird ein durch Erhitzen erhaltenes ultraviolettes Absorptionsbandenspektrum des Sauerstoffs ausgemessen, das bei steigender Temperatur intensiver wird und sich immer weiter nach längeren Wellen ausdehnt. Dieses Verhalten wird auf Anregung höherer Oszillationen durch Erhitzen zurückgeführt und mit der spezifischen Wärme des Gases in Zusammenhang gebracht.

Andrerseits werden die Kanten der Sauerstoff-Absorptionsbanden bei Zimmertemperatur bis an die Grenze des ohne Vakuumspektrographen zugänglichen Gebietes (bis $\lambda = 1830,6$ A.E.) gemessen.

Die Bandenlinien in dem aufgelösten Gebiet werden durch Herrn Kratzer in Serien geordnet, das Kantenschema wird mitgeteilt. Es zeigt die Besonderheit, daß der Elektronensprung eine außergewöhnlich große Lockerung der gegenseitigen Bindung der 2 Sauerstoffatome bewirkt, was sich nicht nur in der stark verminderten Grundfrequenz der Oszillation im Endzustand der Absorption, sondern auch in einer starken Vergrößerung des Trägheitsmomentes äußert.

Rostock, Physikalisches Institut April 1925.

(Eingegangen 18. April 1925.)

---

## Über Farbenmessung.

(Zu T. Oryngs Aufsatz: „Über die physikalische Definition der bunten Körperfarben“.)

Von E. Schrödinger.

1. Die Methode der Messung und Definition einer Farbe, welche seit den klassischen Arbeiten von Maxwell, Helmholtz, A. König, Dieterici und Kries als ein gesicherter Besitz anzusehen ist, beruht nicht, wie man nach den kritischen Bemerkungen des Herrn Oryng[1]) glauben könnte, auf heterochromer Photometrie, sondern nur auf der Konstatierung der Ununterscheidbarkeit zweier Farbfelder, einer sogenannten Farbengleichung. Der prinzipielle

1) T. Oryng, Diese Zeitschr. **26**, 185, 1925.

Vorgang ist dieser[1]). Es werden aus einem bestimmten Spektrum 3 Spektrallichter, etwa ein bestimmtes Rot, Grün und Violett zu „Eichlichtern" gewählt und zugleich die Intensitäten, in denen sie in dem verwendeten Spektrum tatsächlich vorliegen, zu — unter sich unabhängigen und beziehungslosen — Einheiten der Eichlichter. Um die Farbe eines beliebigen vorgelegten Lichtes durch 3 Zahlen zu charakterisieren, wird nachgesehen, welche „Quanta" (in den genannten Einheiten) der 3 Eichlichter man mischen muß, um ein Licht zu erhalten, welches in seinem Aussehen dem vorgelegten Licht ununterscheidbar gleicht. Diese Quanta, die sogenannten Eichwerte, charakterisieren das vorgelegte Licht hinsichtlich seiner Farbe so vollständig, als das überhaupt möglich ist, gleichsam als seine Koordinaten. Bei sehr gesättigten Farben, z. B. bei einem Teil der Spektralfarben selbst, kommt es vor, daß eine der Eichfarben auf die andere Seite der Farbengleichung zu stehen kommt, d. h. es ist nötig, dem vorgelegten Licht ein ganz bestimmtes Quantum des einen Eichlichts beizumischen, um diese Mischung mittels zweier ganz bestimmter Quanta der beiden anderen Eichlichter imitieren zu können. Grundsätzlich ist das ohne Bedeutung, man pflegt in diesem Fall konsequenterweise von einem negativem Eichwert zu sprechen.

Auf diesem prinzipiell so einfachen Vorgehen beruht die klassische Definition und Festlegung einer Farbe. Es hat mit heterochromer Photometrie nicht das mindeste zu schaffen[2]), ebensowenig mit einer bestimmten Farbentheorie. Wenn man nachher auf bestimmte „virtuelle" Eichfarben umrechnet (die sog. Fehlfarben der Dichromaten) oder, wie das F. Exner[3]) und K. W. F. Kohlrausch[4]) tun, „Einheiten gleicher Helligkeit" einzuführen versucht, so sind das zwar Dinge, die im Mittelpunkt unseres Interesses stehen, von deren Gelingen oder Mißlingen, Haltbarkeit oder Unhaltbarkeit die ursprüngliche einfache klassische Farbendefinition aber gänzlich unberührt bleibt.

1) Siehe z. B. W. Nagels Handbuch der Physiologie, **3**, 110ff. (Braunschweig bei Vieweg 1905.) — E. Schrödinger, Ann. d. Phys. **63**, 427, 1920.

2) Ich habe diesen wichtigen Sachverhalt in meinen Abhandlungen zur Farbenmetrik (Ann. d. Phys. **63**, 397, 427, 481, 1920) dadurch besonders zu unterstreichen versucht, daß ich den Tatsachenkomplex, der ausschließlich auf exakten Farbengleichungen beruht, als „niedere Metrik" reinlich absonderte von der „höheren Metrik", welche auch noch Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen Farben benutzt. Der Gegensatz tritt auch im mathematischen Apparat außerordentlich klar zutage: für die niedere Metrik ist der Farbenraum ein affines, erst für die höhere ist er ein eigentlich metrisches Gebilde.

3) F. Exner, Sitzber. d. Wien. Akad. (2a) **127**, 1829, 1918; **129**, 27, 1920.

4) K. W. F. Kohlrausch, Diese Zeitschr. **21**, 423, 1920.

2. Daß erst Ostwald experimentelle Methoden ausfindig gemacht habe, um eine Farbe zu messen, ist eine ungeachtet aller Richtigstellungen[1]) immer wieder auftauchende Behauptung, welcher wir die Priorität der eingangs genannten Forscher entgegenhalten.

3. Nun zu einer anderen Sache. W. Ostwald glaubt, was er Weiß- und Schwarzgehalt einer Pigmentfarbe nennt, ermitteln zu können aus den Ordinaten zweier ausgezeichneter Punkte (Minimum und Maximum) ihrer Remissionsfunktion, oder, um mit ihm zu sprechen, ihres „Schluckzuges". Herr Oryng bespricht l. c. den hiergegen zu erhebenden Einwand und erläutert ihn an einer Figur. „Es liegt bis jetzt kein Beweis noch ein Versuch des Beweises vor, daß unsere Farbempfindung lediglich durch die Gebiete der maximalen und minimalen Schluckung bestimmt wird." Herr Oryng anerkennt also den Einwand doch mindestens als vorläufig berechtigt. Um so mehr nimmt es wunder, daß Herr Oryng in diesem Zusammenhang zwar von „zahlreichen spektrophotometrischen Untersuchungen" spricht, nicht aber davon, daß K. W. F. Kohlrausch es war, der den Einwand zuerst erhoben und durch spektrophotometrische Analyse Ostwaldscher Pigmente gestützt hat, derselbe Kohlrausch in denselben Arbeiten[2]), deren Zurückweisung Herr Oryng im Anfang seiner Note sich zum Programm macht. Mir scheint, wenn man jemandem teilweise entgegentritt, teilweise aber dessen Ansichten sich zu eigen macht, sollte man diesen letzteren Umstand ganz unmißverständlich hervorheben.

Was nun die Sache selbst betrifft, so hält Herr Oryng es doch immerhin für denkbar, daß der oben erwähnte Beweis, der Kohlrauschs Einwand entkräften würde, sich möglicherweise könnte erbringen lassen. Demgegenüber ist — in Übereinstimmung mit Kohlrausch — festzustellen, daß das Suchen nach einem solchen Beweis sich erübrigt, weil die wohlbekannten Gesetze der Lichtmischung das kontradiktorische Gegenteil des zu Beweisenden über jeden Zweifel erheben; d. h. sie erheben über jeden Zweifel, daß die ganze Remissionsfunktion eines Pigments für sein Aussehen maßgebend ist, nicht bloß ihr Maximum und Minimum. Man kann, ohne an der Lage und Größe der Extrema etwas zu ändern, jede Remissionsfunktion eines bunten Pigments in solcher Weise

1) Derselbe, ebendort S. 396 und 473.

2) K. W. F. Kohlrausch, Diese Zeitschr. **21**, 396, 423, 473, 1920.

abändern, daß ein völlig anders zusammengesetztes Lichtgemisch remittiert wird, von dem experimentell feststeht, daß es wirklich ein völlig anderes Aussehen hat. Sollte aber die Meinung die sein, daß eine solche Abänderung der Remissionsfunktion zwar theoretisch denkbar sei, daß jedoch in Wirklichkeit, sozusagen zufällig, nur solche Pigmente vorkommen, die, wenn in den Extremis, dann auch im Aussehen übereinstimmen, so verweise ich auf die erwähnten Experimentaluntersuchungen Kohlrauschs, in denen gezeigt wird, daß die wirklichen Pigmente und zwar speziell die Ostwaldschen nicht von solcher Beschaffenheit sind.

4. Ich möchte die Gelegenheit benutzen, um hier zu jener „merkwürdigen" Erscheinung Stellung zu nehmen, die Ostwald „Metamerie" der Farben nennt[1]). Die Sache wird öfters, so auch von Herrn Oryng l. c. so hingestellt, als habe Ostwald da eine besonders interessante neue Entdeckung gemacht, die übrigens experimentell noch gar nicht so unzweifelhaft erwiesen sei, nämlich die: daß es Pigmente von ganz verschiedener Remissionsfunktion, also Lichter von völlig abweichender physikalischer Zusammensetzung geben könne, die einander im Aussehen ganz genau gleichen.

Nun beruht ja aber die ganze oben kurz geschilderte klassische Methode der Farbenmessung, ja die Möglichkeit, überhaupt die Farbe eines beliebigen Lichtes durch nur drei Angaben festzulegen, darauf, daß man die „$\infty$ dimensionale" Mannigfaltigkeit von Lichtgemischen — jedes infinitesimale Wellenlängengebiet kann mit einer bestimmten Intensität vertreten sein, unabhängig von den übrigen — durch eine nur dreidimensionale Mannigfaltigkeit von Lichtgemischen für das Auge ununterscheidbar nachahmen kann. Daraus folgt, daß „Metamerie" bei zwei willkürlich aus der Mannigfaltigkeit aller Lichter herausgegriffenen gleichaussehenden Lichtern das Gewöhnliche und Normale ist, völlige Identität der physikalischen Zusammensetzung hingegen ein sozusagen unendlich unwahrscheinlicher Ausnahmefall. (Die Mannigfaltigkeit der Lichter ist, wie man es mengentheoretisch ausdrücken kann, gewissermaßen von höherer Mächtigkeit als die der Farben.)

Dieser Sachverhalt, der wie gesagt die Regel, nicht die Ausnahme bildet, ist nun zwar von ganz grundlegender Wichtigkeit, weil auf ihm ebensowohl die Möglichkeit wie die Notwendigkeit beruht, neben die rein physikalische, spektrophotometrische Definition eines Lichtes durch eine Kurve die Definition einer Farbe durch ihre 3 Eichwerte zu setzen; aber aus eben diesem Grunde ist dieser Sachverhalt jedem, der das Gebiet nur etwas genauer kennt, so sehr zur Trivialität geworden, daß er es höchst unzweckmäßig finden muß, ihn durch ein besonderes Wort zu bezeichnen, mit dem sich unwillkürlich die Vorstellung eines besonderen, außergewöhnlichen Vorkommnisses verbindet, nicht aber die von der Universalität der Sache. — Die Verwirrung, die das neue Wort tatsächlich angerichtet hat, übertrifft allerdings jede Erwartung: seit der neuen Namengebung wird ganz ernsthaft in Zweifel gezogen und erst vom Erfolg künftiger Experimente abhängig gemacht, was seit Newton und Maxwell die experimentell gesicherte Grundlage aller Farbenmessung gebildet hat, und zwar, wie ausdrücklich bemerkt sei, der Ostwaldschen ebensowohl wie der klassischen!

Nur nebenbei sei bemerkt, daß das Beispiel für metamere Farben, welches Herr Oryng an Hand seiner Figur gibt, nicht ganz richtig ist, weil es einen viel zu einfachen Sachverhalt vermuten läßt; das ist kein Wunder, weil Herr Oryng eben die „Metamerie" für etwas noch ganz Hypothetisches und jedenfalls noch nicht genau Bekanntes hält, während wir ihre Gesetze schon sehr viel länger kennen als ihren neuen Namen.

5. Diese Kenntnis beruht darauf, daß sich die Koordinaten (s. o.) einer Farbe, sagen wir z. B. eines Pigments aus seiner spektrophotometrisch gemessenen Remissionskurve und aus den Grunderregungskurven durch drei einfache mechanische Quadraturen berechnen lassen, wie das z. B. Kohlrausch l. c. ausführlich zeigt. Gegen dieses Verfahren nimmt Herr Oryng zum Schluß in einer Anmerkung Stellung, es sei „noch ungeeigneter für eine eindeutige Beschreibung der bunten Farben, weil die Grunderregungskurven selbst immer noch unbestimmt sind und mit dem Auge der Versuchsperson variieren".

Ist es denn wirklich unmöglich, sich mit denen, die Ostwalds absoluter Farbenmeßkunst ganz oder teilweise Gefolgschaft leisten, wenigstens darüber zu verständigen, daß keine Messung das Aussehen eines Lichtes absoluter festlegen kann, als es ist, d. h. immer nur in derjenigen Näherung, in der das Farbensehen normaler Personen übereinstimmt? Werden jene nicht aufhören zu glauben, daß die individuellen Abweichungen der klassischen Eichkurven die Fehlerhaftigkeit der Methode bezeugen und nicht vielmehr den wirklich vorhandenen Variationsbereich im Farbensehen auch der normalen Seh-

1) Siehe zum folgenden auch die Auseinandersetzung zwischen O. Meißner, (Diese Zeitschr. **22**, 268, 1921) und K. W. F. Kohlrausch (ibid. **22**, 402, 1921).

organe, welcher sich nicht aus der Welt schaffen läßt und die Farbe der Möglichkeit einer absoluten Festlegung im ganz strengen Sinn wie bei einer rein physikalischen Größe entrückt? Man mache sich doch klar, daß die streng physikalische Festlegung einer Farbe geleistet ist, wenn man die physikalische Zusammensetzung des betreffenden Lichtes nach Wellenlängen kennt; was weiter verlangt wird, ist nichts „Absolutes" mehr, sondern hat nur Sinn in Beziehung auf ein bestimmtes Sehorgan. Daß dabei für viele Zwecke die kleinen Abweichungen der normalen Sehorgane untereinander kein weiteres Interesse bieten, ist zuzugeben; aber man wird sich als Physiker ungern entschließen, solche Methoden, die, hinreichend präzis, diese kleinen individuellen Abweichungen noch zutage treten lassen, aufzugeben zugunsten anderer, die mangels genügender Präzision von diesem „Nachteil" frei sind.

(Eingegangen 26. März 1925).

## Eine Umkonstruktion des Zweifadenelektrometers.

Von Theod. Wulf.

An dem Zweifadenelektrometer des Verfassers wurde es öfter unangenehm empfunden, daß man zum Einsetzen neuer Fäden jedesmal das ganze Instrument an den Fabrikanten zurückschicken mußte. Zur Abstellung dieses Mangels habe ich mit der Firma E. Leybolds Nachf. Köln eine kleine Umstruktion vorgenommen, wie sie in Fig. 1 für das Elektrometer ohne Hilfskonduktor, in Fig. 2 für dasselbe mit Hilfskonduktor dargestellt ist.

Die Bernsteinplatte $B$, die den oberen Befestigungspunkt des Fadensystems trägt, ist in einem kräftigen Messingring $M$ befestigt. Von diesem Ring gehen zwei Stangen $S$ nach unten, und tragen dort auf einer an ihren Enden befestigten Brücke $P$ den Quarzfadenbügel, an welchen die unteren Fadenenden angekittet sind. Die Stangen tragen auch die zwei Drähte $D$ zur Festlegung der Ebene der Fäden.

Die Brücke $P$ ist bei dem Instrument ohne Hilfskonduktor einfach eine Messingplatte.

Bei dem Instrument mit Hilfskonduktor (Fig. 2) besteht sie aus einer runden kräftigen Ebonitscheibe. Auf diese Scheibe ist die Grundplatte $G$ des Hilfskonduktors angeschraubt, von welcher der ganze Konduktor frei getragen wird. Er ist vom Gehäuse durch die Ebonitplatte $P$, von dem Fadensystem durch den Quarzbügel isoliert. Um das Fadensystem beim Arbeiten

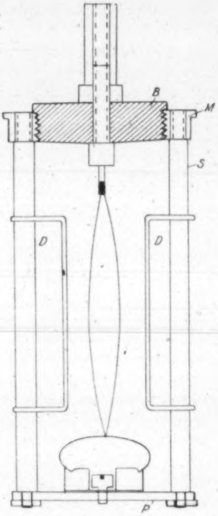



Fig. 1.

zugänglich zu machen, besteht der Hilfskonduktor aus zwei Halbzylindern, von denen der

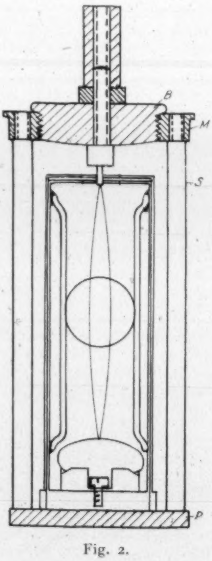



Fig. 2.

eine fest mit der Bodenplatte verbunden ist, während der andere mit entsprechend größerem Halbmesser etwas um den ersten herumgreift und gedreht werden kann, wodurch das Innere geöffnet oder geschlossen wird.

Das ganze gezeichnete System wird von oben in das Gehäuse eingesetzt und so gedreht, daß die Fadenebene senkrecht zur Mikroskopachse liegt. Man erkennt das daran, daß beide Fäden zugleich im Mikroskop scharf erscheinen. Dann wird der Ring *M* durch drei übergreifende Schraubenköpfe in dieser Lage festgeklemmt. Zum Einsetzen neuer Fäden braucht man jetzt nur diese drei Schrauben zu entfernen, so kann man den ganzen Einsatz herausheben und zum Einziehen neuer Fäden in einer Büchse einschicken oder, wenn man sich einen Reserveeinsatz vorrätig hält, durch den anderen ersetzen. Das Auswechseln ist daher beim Zweifadenelektrometer jetzt noch einfacher und sicherer als beim Einfadenelektrometer. Nachdem dafür gesorgt ist, daß der Ausdehnungskoeffizient der Stangen *S* gleich ist demjenigen der beiden Fäden, ist das Instrument auch für Temperaturschwankungen korrigiert.

Da schnelle Bewegungen der Fäden auf die Dauer doch die Platinbestäubung leicht beschädigten, so werden die Instrumente, wenn nicht entgegengesetzte Wünsche ausdrücklich geäußert werden, mit Wollastonfäden, und zwar im allgemeinen von $4\mu$ Durchmesser versehen. Diese Fäden haben bei genügender Empfindlichkeit eine sehr gute Haltbarkeit. Wenn etwa besonders große Empfindlichkeit gewünscht wird, so werden zweckmäßig dünnere Fäden gewählt; während für Apparate, die vorzugsweise zur Projektion bei Vorführungen in einem großen Hörsaal dienen sollen, dickere Fäden etwa bis $8\mu$ Durchmesser zweckmäßig sein könnten.

Instrumente dieser Konstruktion sind von der Firma E. Leybolds Nachf. Köln zu beziehen.

Valkenburg, Phys. Inst. des Ignat.-Collegs, 25. März 1925.

(Eingegangen am 27. März 1925.)

## Ein Zylinderkondensator zur Messung kleiner Kapazitäten.

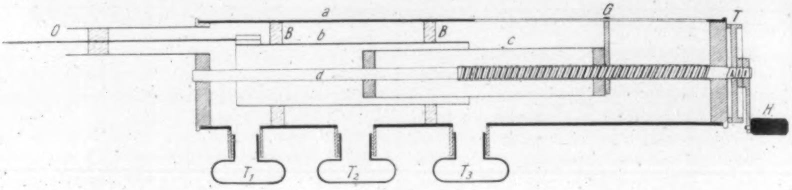
Von Theod. Wulf.

Zur Ausnutzung der größeren Genauigkeit der Fadenelektrometer für Spannungsmessungen ist es in vielen Fällen erforderlich, auch die außerordentlich kleinen Kapazitäten bis unter 1 cm abwärts mit der gleichen Genauigkeit zu bestimmen. Während früher die Verfahren zur Messung so kleiner Kapazitäten weniger bearbeitet wurden, auch wohl weniger Bedeutung hatten, machte Harms[1]) auf diesem Gebiete den ersten entscheidenden Schritt vorwärts durch Berücksichtigung der Kapazitätsänderungen bei der Annäherung an andere Leiter. Ein Zylinderkondensator veränderlicher Kapazität wurde vielfach für diese Zwecke benutzt, zuerst vielleicht von Gerdien[2]). Bisher wurden diesen Kapazitätsbestimmungen vor allem die Messungen von Potentialen zugrunde gelegt. Da aber die Kapazitätsänderungen der Zylinderkondensatoren (von den Endwerten abgesehen) sehr genau linear gehen mit den Verschiebungen der beweglichen Zylinder, und da außerdem die Kapazitätseichung eines Zylinders viel sicherer konstant bleibt als die Volteichung auch des besten Elektrometers, so bietet es Vorteile, die Messung auf diese Längenänderungen zu gründen. Die vorliegende Konstruktion sucht diesen Gedanken zu verwirklichen und besonders zur Präzisionsmessung kleinster Kapazitäten zu verwerten.

1. Das Instrument besteht im wesentlichen aus einem Zylinderkondensator veränderlicher Kapazität. In dem Schutzrohr *a* ist durch zwei Bernsteinringe *BB* isoliert das Rohr *b* gelagert. In diesem läßt sich auf der Achse *d* gleitend der stets geerdete Zylinder *c* meßbar verschieben, wodurch die Kapazität des isolierten Zylinders *b* verändert wird. Die Achse *d* trägt in ihrer rechten Hälfte ein sorgfältig geschnittenes Schraubengewinde, am Ende eine Kurbel *H* zum Drehen der Achse und eine 100 teilige Trommel *T*. Die Geradführung *G* gleitet in einem Schlitz des äußeren Rohres und läßt zugleich an einer in das Rohr eingeritzten Skala die Zahl der ganzen Kurbeldrehungen ablesen, während die Bruchteile an der Trommel *T* abgelesen werden. Durch die Öffnung *O* (beim Nichtgebrauch durch eine Kappe verschließbar) kann man mittels einer Sonde das Rohr *b* mit andern Instrumenten in leitende Verbindung bringen. Die drei Tuben $T_1$, $T_2$, $T_3$ dienen zum Austrocknen der Isolatoren, eine Klemmschraube zum Erden des Gehäuses. Das Ganze ist auf einen Dreifuß mit Säule in Höhe verstellbar befestigt.

Dadurch, daß alle Teile, die auf die Messung Einfluß haben, aus konzentrischen Zylindern bestehen, und diese sämtlich, wie auch die Achse *d*, zur größeren Sicherung ihrer Lage an beiden Enden getragen werden, indem endlich die Verschiebung des Zylinders *c* mit der Trommel auf $^1/_{100}$ Schraubengang abgelesen werden kann,

1) F. Harms, Diese Zeitschr. **5**, 47, 1904.
2) H. Gerdien, Diese Zeitschr. **5**, 294, 1904




konnte ein erheblicher Grad von Genauigkeit der Messungen erzielt werden.

2. Bisher wurden die Zylinderkondensatoren meist in der Weise zu Kapazitätsmessungen benutzt, daß man die unbekannte Kapazität mit der Gesamtkapazität des Kondensators verglich. Zur Messung sehr kleiner Kapazitäten (gedacht ist zunächst an Kapazitäten von etwa 25 cm abwärts) scheint es vorteilhafter zu sein, die unbekannte Kapazität nur mit der Kapazitätsänderung des Meßkondensators zu vergleichen.

Bekanntlich ist die Kapazität des inneren von zwei koachsialen unendlich langen Zylindern von den Halbmessern $r_1$ und $r_2$ $(r_2 > r_1)$ für das Stück $l$ cm

$$c = \frac{l}{2 \lg \operatorname{nat} r_2/r_1}.$$

Derselbe Ausdruck mißt aber auch die Induktion auf den äußeren Zylinder, soweit ein Einfluß der Enden nicht in Betracht kommt, und also auch die Änderung der Kapazität des äußern Zylinders, wenn der innere um ein Stück $l$ verschoben wird. Im vorliegenden Fall tritt aber an Stelle des Zylinders $c$ nur der Zylinder $d$, der eine wird bei der Verschiebung von $c$ um so viel kürzer als der andere länger wird. Die Kapazitätsänderung beträgt daher, wenn jetzt $b$ den inneren Durchmesser des Rohres $b$ bedeutet, $c$ den äußeren von $c$, und $d$ den Durchmesser der Achse,

$$\triangle c = \frac{l}{2}\left(\frac{1}{\lg \operatorname{nat} b/c} - \frac{1}{\lg \operatorname{nat} b/d}\right).$$

Die Ganghöhe der Schraube wurde, um nicht zu viel drehen zu müssen, zu 0,2 cm gewählt. Dann erfolgt für 1 Trommeldrehung als Apparatkonstante die Kapazitätsänderung

$$k = 0{,}1\left(\frac{1}{\lg \operatorname{nat} b/c} - \frac{1}{\lg \operatorname{nat} b/d}\right)$$

und für $n$ Umdrehungen ist die Kapazitätsänderung einfach

$$\triangle c = nk.$$

Die Werte für $b$, $c$, $d$ wurden so gewählt, wie es der Zweck des Instruments, Präzisionsmessungen kleiner Kapazitäten, verlangte. Dann dürfen namentlich die Abstände der Zylinder $b$ und $c$ nicht zu klein werden. Als günstige Maße ergaben sich die Durchmesser $b = 26$, $c = 22$, $d = 6$ mm. Dann wird $k$ nahezu gleich 0,5 cm und der Kapazitätswert für 1 Trommelteilstrich 0,005 cm.

3. Die Messung einer unbekannten Kapazität kann dann prinzipiell in der Weise vorgenommen werden, daß man die unbekannte Kapazität zu dem Kondensator mit Elektrometer zuschaltet und dann durch Drehen der Kurbel die Kondensatorkapazität solange verkleinert, bis die frühere Spannung wieder erreicht ist. Dann ist die unbekannte Kapazität gleich der Kapazitätsänderung des Kondensators und diese ergibt sich aus der Zahl der Trommeldrehungen, unabhängig von der Volteichung des Elektrometers.

Am reinsten kommt dieser Gedanke zur Anwendung bei Messung einer Kapazitätsänderung. Man habe zum Beispiel eine geladene Scheibe und will die Kapazitätsänderung messen, die sie dadurch erfährt, daß ihr eine andere geerdete Platte genähert wird. Dann verbindet man Scheibe und Kondensator mit einem Elektrometer, ladet auf bis der Elektrometerfaden am besten gerade auf einem Teilstrich der Skala steht, führt dann die Annäherung der geerdeten Platte aus und dreht die Kurbel des Kondensators solange, bis der Elektrometerfaden wieder genau an seiner früheren Stelle steht. Sind dazu $n$-Umdrehungen erforderlich, so war die Kapazitätsänderung der Scheibe $nk$ cm. Das Elektrometer dient dabei nur als Nullinstrument (Null in einem weiteren Sinne verstanden), von seiner Eichung ist die Messung nicht abhängig.

Jedoch würden sich Isolationsfehler bemerklich machen. Man muß sich daher von dem guten Isolationszustand aller Teile überzeugen. Kleine Fehler kann man dadurch in Rechnung ziehen, daß man alle Instrumente eine Zeitlang zu demselben Potential geladen stehen läßt, und den Spannungsverlust etwa nach 5 Min. ebenfalls durch Drehen der Kondensatorkurbel ersetzt. Sind dazu $z$-Umdrehungen erforderlich, und hat die Beobachtung $a$ Sekunden gedauert, so kommen auf $a$ Sekunden $\frac{za}{300}$ Umdrehungen

durch Isolationsfehler, die also zu der abgelesenen Zahl $n$ zu addieren (bzw. subtrahieren) sind.

Häufig wird man auch folgendes Verfahren anwenden können zur Ausschaltung von Isolationsfehlern. Wird zuerst die unbekannte Kapazität vergrößert, so sinkt das Potential, es muß durch Drehen des Zylinderkondensators wieder erhöht werden; die Isolationsfehler fließen dabei in der Richtung ein, daß man den Kondensator weiter drehen muß, als bei vollkommener Isolation der Fall wäre.

Wenn man aber eine zweite Messung macht, bei welcher die unbekannte Kapazität um ebensoviel verkleinert, also das Potential erhöht wird, so lassen die Isolationsfehler nun den Kompensationswert kleiner erscheinen. Durch Mittelnehmen aus beiden Beobachtungen fallen die Isolationsfehler heraus.

Nach diesem ebenso einfachen wie genauen Verfahren werden zum Beispiel von der Firma E. Leybolds Nachf. Köln, welche die Herstellung dieser Kondensatoren übernommen hat, alle Instrumente geeicht, indem sie mit einem von der Reichsanstalt geeichten Instrument verglichen werden. Beide Kondensatoren werden mit einem Fadenelektrometer zusammengeschaltet aufgeladen. Dann ändert man die Kapazität des Normalkondensators etwa um 10 Trommeldrehungen und dreht das zu eichende Instrument, bis der anfängliche Elektrometerausschlag wieder erreicht ist. Sind dazu $n$-Umdrehungen erforderlich, so haben diese $n$-Umdrehungen denselben Kapazitätswert, wie die 10 Umdrehungen des Normalkondensators, unabhängig von der Eichung des Elektrometers.

Die Messung wird einmal bei Vergrößerung und einmal bei Verkleinerung des Normalkondensators gemacht, dann fallen beim Mittelnehmen die Isolationsfehler heraus, soweit man wenigstens annehmen darf, daß dieselben sich in der kurzen Zeit der Messung nicht geändert haben, wovon man sich gegebenenfalls durch eine dritte Messung überzeugen könnte.

Die so ermittelte Apparatkonstante wird sich dann, solange das Instrument nicht gewaltsam deformiert wird, unbegrenzt erhalten.

4. Nicht ganz so einfach verläuft die Messung, wenn Kapazitätsänderungen beim Annähern oder Entfernen von anderen Leitern zu berücksichtigen sind.

Es sei zunächst die Kapazität eines Elektrometers zu bestimmen, etwa eines Zweifadenelektrometers. Man stellt durch Anlehnen der Ladesonde des Kondensators an die Zuleitung zu den Elektrometerfäden metallische Verbindung zwischen beiden her und ladet das Ganze zu einem beliebigen (nicht zu kleinen) Potential $v_1$ das man abliest.

Dann trennt man beide voneinander, ohne zu entladen, durch einfache Verschiebung des Fußes. Dabei sinkt das Potential des Elektrometers auf $v_2$, das ebenfalls abgelesen wird. Darauf wird das Elektrometer geerdet und wieder durch Anlehnen der Ladesonde mit dem Kondensator verbunden. Das Elektrometer zeigt jetzt ein Potential an, das kleiner ist als $v_1$ (man braucht es aber nicht abzulesen), und nun dreht man die Kurbel des Kondensators solange bis das Anfangspotential $v_1$ wieder hergestellt ist. Dazu seien $n$-Kurbelumdrehungen, also die Kapazitätsverminderung $nk$ erforderlich. Dann ist die Kapazität des Elektrometers

$$x = n k \frac{v_1}{v_2}.$$

Bei Fadenelektrometern kann man hier immer, auch wenn man die äußerste Genauigkeit anstrebt, statt der Potentiale die Ausschläge selber setzen und ist insofern auch hier von der Eichung des Elektrometers unabhängig.

Da die Schraube der Achse $d$ 50 Windungen hat, so lassen sich auf die beschriebene Weise Kapazitäten bis zu 25 cm messen. Für höhere Kapazitäten kann man leicht größere Instrumente herstellen.

5. Sie lassen sich aber auch mit diesem Apparat nach den bisher üblichen Verfahren messen.

Man bestimmt dann zuerst die Gesamtkapazität des Kondensators mit der unbekannten Kapazität, die mit einem Elektrometer verbunden sein oder verbunden werden muß. Man dreht den Kondensator auf Null der Skala, ladet das Ganze auf, bis das Elektrometer einen großen Ausschlag zeigt, ($V_1$) isoliert und vergrößert die Kondensatorkapazität etwa bis Teilstrich 50, also um $50\,k$ cm, wobei das Potential auf $V_2$ sinkt, dann gilt für die Gesamtkapazität $C$ bei Teilstrich Null

$$C V_1 = (C + 50\,k)\,V_2 \quad \text{also} \quad C = 50\,k \frac{V_2}{V_1 - V_2}.$$

Damit ist die Gesamtkapazität auch für jeden andern Punkt der Kondensationsskala bekannt.

Die gesuchte Kapazität allein findet sich dann aus der Gesamtkapazität wie bei Harms und Gerdien (l. c.) angegeben. Man ladet das ganze System auf Potential $V_1$, trennt den unbekannten Teil mit Elektrometer vom Kondensator, sein Potential nach der Trennung sei $V_2$, erdet ihn und verbindet von neuem mit dem inzwischen geladen gehaltenen Kondensator. Dann ist, wenn $x$ die gesuchte Kapazität

$$C V_1 - x V_2 = C V_3 \quad \text{also} \quad x = C \frac{V_1 - V_3}{V_2}.$$

Da der Kondensator allein eine Kapazität von beiläufig 50 cm hat und mit Fadenelektrometern Änderungen von 20 Proz. sich genügend genau ablesen lassen, so kann man auf diese Weise Kapazitäten bis gegen 300 cm bestimmen, wo man aber jetzt von der richtigen Elektrometereichung abhängig ist.

6. Es erübrigt nun noch der Nachweis, wie weit die Kapazitätsänderung des Kondensators wirklich eine lineare Funktion der Verschiebung ist, bzw. von welchen Skalenteilen an sich Abweichungen bemerklich machen. Diese Frage wurde in der Weise untersucht, daß ein und dieselbe Kapazität (die kleine Kapazität eines Zweifadenelektrometers selbst) in der oben beschriebenen Weise durch Verkleinern der Kapazität des Zylinderkondensators kompensiert wurde, indem aber dabei die verschiedenen Skalenteile des Kondensators benutzt wurden. Die Kompensation auf dasselbe Potential verlangte nahezu 5 Trommelumdrehungen, es konnte also dieselbe Kapazität 10 mal gemessen werden, indem dazu der Reihe nach die Skalenwerte 50—45, 45—40 ⋯ 5—0, benutzt wurden. Haben sie alle denselben Kapazitätswert, so muß an jeder Stelle dieselbe Zahl der Trommelumdrehungen zur Kompensation erforderlich sein. Da es vor allem darauf ankommt, wie weit die beiden äußersten Enden mit den mittleren Teilen gleichwertig sind, so wurden die Endwerte häufig gemessen und mit dem Mittelwert der übrigen verglichen. Es ergab sich für die Kapazität desselben Elektrometers gemessen durch die Skalenteile

| | 50—45 | 45—5 | 5—0 |
|---|---|---|---|
| $n =$ | 5,76 | 5,76 | 5,82. |

Die Abweichung des letzten Wertes bedeutet natürlich keinen Fehler, sondern nur weniger bequeme Messung, wenn man diese Skalenteile benutzt[1]).

7. Um diese gute Übereinstimmung der Einzelwerte zu erlangen, wurden einige Vorsichtsmaßregeln angewandt, deren Mitteilung vielleicht nützlich sein könnte.

a) Wenn die Verbindung des Kondensators mit anderen Teilen nur durch Anlehnen geschieht, so müssen die betreffenden Teile gut sauber sein. Man muß sich vergewissern, daß guter Kontakt vorhanden ist. Er ist leicht daran zu erkennen, daß der Elektrometerfaden sich beim Drehen der Kurbel nicht sprungweise bewegt, sondern beständig der kleinsten Kurbelbewegung folgt.

b) Bei der Trennung der Teile voneinander zu dem Zweck, den einen Teil zu erden, muß die Entfernung so groß gemacht werden, daß keine merkliche Influenzwirkung mehr stattfindet, also bei einer weiteren Entfernung der Elektrometerfaden nicht die geringste Bewegung mehr macht. Sonst wird sich beim Erden eine Influenzladung einstellen, die nachher die Messung stark fälschen kann.

c) Beim Erden muß wirklich gute metallische Verbindung mit den Gehäusen des Elektrometers und des Kondensators hergestellt werden. Berührung mit einem Finger sichert keineswegs die vollkommene Entladung, da der eigene Körper ein merklich abweichendes Potential haben kann. Man befestige vielmehr an die Erdklemme einen Draht mit einem blanken Ende, das man mit dem abzuleitenden Punkt in Berührung bringt.

d) Man mache solche Präzisionsmessungen nicht in Räumen, deren Luft durch Radiumpräparate, Röntgenstrahlen, Funkenentladungen, Flammen stark ionisiert ist. Die Ladesonden der Instrumente umgebe man soweit möglich mit geerdeten Metallrohren. Die Öffnung für die Ladesonde am Kondensator ist deshalb mit einem kurzen, nach außen hervortretenden Rohrstück versehen, über welches man leicht noch weitere Rohrstücke stecken kann.

8. Derartige geeichte Kondensatoren veränderlicher Kapazität dienen nicht nur zur Messung anderer Kapazitäten, auch die Bestimmung hoher Widerstände (über $10^{11}$ Ohm), bzw. schwache Leitfähigkeiten, wie besonders die Leitfähigkeit der atmosphärischen Luft, die Ionisation durch schwache radioaktive Körper lassen sich mit Vorteil auf die Kondensatoreichung gründen.

Der Firma E. Leybolds Nachf. Köln danke ich für die Bereitwilligkeit, mit welcher sie meinen zahlreichen Wünschen stets entsprochen hat.

Valkenburg, Phys. Instit. des Ignat. Collegs
25. März 1925.

(Eingegangen 27. März 1925.)

1) Durch gewisse Änderungen der Zylindermaße hoffe ich diesen Wert noch verbessern zu können.

# ZUSAMMENFASSENDE BERICHTE.

Besorgt von R. Seeliger.

## Bericht über spektroskopische Nachweise von Isotopen und die Frage des Zusammenhangs zwischen den Isotopen und den Trabanten von Spektrallinien.

Von Georg Joos.

### 1. Einleitung.

Die außerordentliche Meßgenauigkeit der Spektroskopie läßt die Hoffnung verständlich erscheinen, die Kanalstrahluntersuchung der Isotopen durch spektroskopische Methoden zu ergänzen. Von diesen ist sogar in manchen Fällen eine Überlegenheit gegenüber der Kanalstrahlanalyse zu erwarten. Bildet ein Element z. B. Hydride, so läßt die Kanalstrahlanalyse keinen Unterschied zwischen einem derartigen Molekül und einem Isotop gleicher Masse erkennen, während natürlich die Spektren grundverschieden sind. Weiter käme in Frage, ob nicht mit optischen Mitteln isotop-isobare Atome noch zu unterscheiden wären. Endlich wird seit langem vermutet, daß die merkwürdigen Trabanten der Spektrallinien mancher Elemente im Zusammenhang mit den Isotopen stehen, zumal diese Trabanten bei dem isotopenreichen Quecksilber besonders zahlreich sind. Inwieweit die hier aufgeworfenen Fragen experimentell und theoretisch geklärt sind, soll im folgenden diskutiert werden.

Eindeutige Nachweise von Isotopen sind bisher — dies Resultat sei aus technischen Gründen vorweggenommen — nur im Bereich der Molekül(Banden)-Spektren gelungen, es soll daher zunächst das hierüber vorliegende Material besprochen werden.

### 2. Bandenspektren.

Bekanntlich bestehen die Terme der Bandenspektren im allgemeinen aus 3 Summanden: dem Elektronenterm, dem Kernschwingungs- (Oszillations-) und dem Kernrotationsterm. Dabei entspricht die Reihenfolge ihrer Größe. Der Elektronenterm ist analog zum Term der Linienspektren, er wird daher ebensowenig wie dieser (vgl. unten, 3.) durch eine Verschiedenheit der Kernmasse ernstlich beeinflußt. Eine viel größere Veränderung erfährt dagegen, wie zuerst A. Kratzer (1) und gleichzeitig A. Haas, sowie F. W. Loomis (2) erkannt haben, der Kernschwingungs- und der Kernrotationsterm.

Was die Größe der Änderung des Oszillationsterms betrifft, so berechnet diese sich folgendermaßen: Der Term selbst lautet bekanntlich:

$$W_n = nh\nu_0 = nh\sqrt{\frac{f}{\mu}}, \tag{1}$$

wobei $f$ die Konstante der quasielastischen Bindungskraft und

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} \tag{2}$$

ist.

Haben wir 2 Moleküle, die sich nur dadurch unterscheiden, daß in dem einen das Atom 2 durch ein Isotop mit der Masse $M_2'$, im andern durch ein solches mit der Masse $M_2''$ vertreten ist, so beträgt das Verhältnis der Kernschwingungsfrequenzen, da die durch die Elektronenhülle bewirkte quasielastische Kraft bei den Isotopen dieselbe ist:

$$\varrho = \frac{\nu_0'}{\nu_0''} = \sqrt{\frac{M_2''(M_1+M_2')}{M_2'(M_1+M_2'')}} \tag{3}$$

Da stets:

$$M_2'' - M_2' = \Delta M_2 >> M_2,$$

ergibt eine einfache Umformung:

$$\varrho = 1 + {}^1/_2 \frac{\Delta M_2 M_1}{M_2'(M_1+M_2')} \tag{4}$$

Diese Formel unterscheidet sich von der von Mulliken (3) angegebenen dadurch, daß bei ihm im Nenner die mittleren Massen $M_2$ stehen. Die Mullikensche Formel gibt den relativen Unterschied $\varrho - 1$ bezogen auf die mittlere Frequenz, während die obige ihn auf die eine Frequenz bezieht, die zu $M_2'$ gehört. Ist $\Delta M_2$ positiv, so wird $\varrho > 1$. Es kommt also dem Molekül mit dem leichteren Isotop die höhere Oszillationsfrequenz zu. Ferner sieht man, daß der Unterschied der Frequenzen umso größer ist, je größer 1. der Unterschied in der Masse der Isotopen und 2. je größer die Masse des 2. Atoms ist. Der Isotopeneffekt ist also im Fall einer Wasserstoffverbindung, der besonders häufig ist, am kleinsten. Für diesen Spezialfall ($M_1 << M_2$) gibt Kratzer die einfachere Formel:

$$\varrho - 1 = -\tfrac{1}{2} M_1 \Delta\left(\frac{1}{M_2}\right). \tag{4a}$$

Das klassische Beispiel für die Bestätigung dieser Beziehung bilden die von E. S. Imes (4) gemessenen Dubletts im Rotations-Schwingungsspektrum von $HCl$. Für die Linien der im ultraroten bei $1{,}76\,\mu$ gelegenen Bande berechnet sich infolge der durch die Isotopen $Cl_{35}$ und $Cl_{37}$ bewirkten Verschiedenheit des Oszillationsterms eine Aufspaltung von 13,54 Å.-E., während als

Abstand der Doppellinien 14 ± 1 A.-E. beobachtet wurde. Auch das Intensitätsverhältnis stimmt gut zu dem aus dem Verbindungsgewicht von *Cl* berechneten Mischungsverhältnis der beiden Atomarten.

Was die im Sichtbaren gelegenen Banden, bei deren Entstehung bekanntlich zum Sprung des Oszillations- und Rotationsterms noch ein Elektronensprung kommt, betrifft, so haben zuerst Grebe und Konen (5) bei den Banden von Bleichlorid nach einem Isotopeneffekt gesucht. Da hierbei das Bandenspektrum von gewöhnlichem Bleichlorid mit dem von Uranbleichlorid verglichen wurde, hat diese Arbeit vor allen andern mit ungetrennten Isotopen ausgeführten Untersuchungen den Vorzug, daß über die Ursache der Unterschiede kein Zweifel bestehen kann, während bei den andern Arbeiten eine Dublettstruktur auch andere Ursachen als Isotopen haben kann, wie die Cyanbanden beweisen. Die genaue Ausmessung ausgewählter Teile in der Gegend von 4270 A.-E. ergab einen Unterschied in dem Sinn, daß die Linien des gewöhnlichen Bleis ($M_2' = 207$) gegen die des Uranbleis ($M_2'' = 206$) um etwa 0,05 A.-E. nach längeren Wellen verschoben sind, was jedenfalls dem Vorzeichen nach mit der Theorie übereinstimmt. Über die Größe des theoretisch zu erwartenden Effekts läßt sich nicht viel aussagen, so lange das Spektrum nicht so weit analysiert ist, daß man die Größe des Kernschwingungsterms angeben kann. Übrigens deuteten Grebe und Konen die beobachteten Unterschiede als Änderung des Rotationsterms, wogegen Kratzer in der Diskussion auf den überwiegenden Einfluß des Oszillationsterms hinwies. Es besteht allerdings auch noch die Möglichkeit, daß gerade die herausgegriffene Bande zum Übergang $O \rightarrow O$ des Oszillationsquants gehört, wie es bei der *CuH*-Bande $\lambda = 4800$ A.-E. der Fall ist, die unten näher besprochen wird.

Eine weitere Beobachtung von Grebe und Konen geht dahin, daß die Linien des Uranbleis schärfer sind als die des gewöhnlichen Bleis, woraus geschlossen wird, daß das gewöhnliche Blei komplex ist.

Aufspaltungen wesentlich anderer Größenordnung (bis zu 200 A.-E.!) in den Banden von *BN* bzw. *BO* deutet R. S. Mulliken (3) ebenfalls als Isotopeneffekt. Das in Frage stehende Spektrum entsteht bei der Einwirkung von aktivem Stickstoff auf $BCl_3$, so daß es von W. Jevons (6), der es zum erstenmal beobachtete, dem *BN* zugeschrieben wurde. Eine Reihe von Gründen, insbesondere die sinkende Intensität bei zunehmender Reinheit des Stickstoffs, lassen aber auch *BO* als Träger möglich erscheinen. Eine sehr weitgehende Analyse dieses Spektrums ergab, daß es aus zwei übereinander gelagerten Bandensystemen besteht. Während der Bau der beiden Systeme derselbe ist, ist der Maßstab für die Kantenabstände der Teilbanden verschieden. Während die zentrale Bande, die einem reinen Elektronensprung ohne Sprung des Oszillationsquants entspricht, beiden Systemen gemeinsam ist, nehmen die Wellenlängenunterschiede mit wachsender Entfernung von dieser zu und erreichen für die höchsten Glieder (beobachtet wurden gegen 80 zum gleichen Elektronensprung gehörige Teilbanden) die Größenordnung mehrerer hundert A.-E. Dieses Anwachsen der Aufspaltung ist nach der Theorie der Bandenspektren durchaus zu erwarten, es wird durch das Glied $(n' - n)\nu_0'$ in der Bandenformel (vgl. Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien, 4. Aufl., S. 729, Formel (1)) bewirkt.

Die Theorie gibt nach (4) für das Verhältnis der Kernschwingungszahlen 1,0276, wenn *BN* der Träger ist, und 1,0292 für *BO* als Träger des Spektrums. Aus der Analyse des Spektrums findet Mulliken für den Anfangszustand der Emission 1,0283, für den Endzustand 1,0294, so daß auf Grund des Isotopeneffekts *BO* als Träger wahrscheinlicher ist wie *BN*.

Wir sehen an diesem Beispiel, daß der Isotopeneffekt, wenn er als solcher sichergestellt ist, ein Mittel liefert, um die schwierige Frage nach dem Träger eines Bandenspektrums zu beantworten. So schließt Mulliken (11) aus dem Fehlen eines meßbaren Isotopeneffekts bei den Banden von *Zn*, *Cd* und *Hg*, daß diese Banden Hydriden zuzuschreiben sind.

Auch in einem zuerst von W. Jevons (7) beobachteten und dem *SiN* zugeordneten Bandenspektrum konnte Mulliken bei den auf der langwelligen Seite der Zentralbande gelegenen Teilbanden neben jeder Kante zwei schwache Nebenkanten feststellen, deren Abstände von der Hauptkante sich wie 1 : 2 verhalten. Diese Kanten sind nach Mulliken durch die Isotopen *Si* 29 und *Si* 30 verursacht, während die Hauptkante zu *Si* 28 gehört. Diese Aufspaltung der Bandenkante ist erst in einiger Entfernung von der Zentralbande meßbar und wird auf der kurzwelligen Seite durch die Abschattierung der Hauptkante verdeckt. Das Verhältnis der Schwingungszahlen ergibt sich für den Endzustand der Emission — wohl zufällig — in auffallend genauer Übereinstimmung mit der Rechnung: es beträgt für *Si* 29 : *Si* 28 0,9941 gegenüber 0,9942 berechnet und für *Si* 30 : *Si* 28 0,9887 gegenüber 0,9888 berechnet. Dagegen besteht für den Anfangszustand der Emission eine beträchtliche Diskrepanz.

Für die Beeinflussung des Rotationsterms, der bekanntlich die Lage der einzelnen Bandenlinien bestimmt, hat Kratzer, l. c. ebenfalls eine Formel angegeben, die sich folgendermaßen herleitet: Der Rotationsterm im $m$ten Quantenzustand lautet:

$$W_m = \frac{m^2 h}{8\pi^2 I}. \qquad (5)$$

Darin bedeutet $I$ das Trägheitsmoment der Molekel in bezug auf eine durch den Schwerpunkt gehende, zur Verbindungsachse der Kerne senkrechte Achse. Haben wir 2 Moleküle, von denen das eine die Kernmassen $M_1$ und $M'_2$, das andere $M_1$ und $M''_2$ habe, so ist, wenn $M'_2$ und $M''_2$ Isotopen sind, jedenfalls die Summe der Abstände der Kerne vom Schwerpunkt, d. h. der Abstand der beiden Kerne voneinander, für beide Moleküle derselbe, da er durch die Elektronenhülle bestimmt wird. Unter dieser Voraussetzung ergibt eine einfache Rechnung für das Verhältnis der Rotationsterme:

$$\frac{W'_m}{W''_m} = \frac{M''_2(M_1 + M'_2)}{M'_2(M_1 + M''_2)}, \qquad (6)$$

nach (3): $\qquad = \varrho^2.$

Zum leichteren Isotop gehört also der größere Term, infolgedessen haben auch die einzelnen Linien, ebenso wie die Kanten, beim leichteren Isotop den größeren Abstand.

Als Schwingungszahlendifferenz entsprechender Linien ergibt sich:

$$\nu'_m - \nu''_m = \Delta\nu''_0 + (\varrho^2 - 1)(\nu'_m - \nu''_0); \qquad (7)$$

der erste Teil, die Verschiebung der Nullinie der Bande, enthält im wesentlichen die Differenz der Oszillationszahl. Bringt man die Nulllinien zur Deckung, so ist der Abstand korrespondierender Bandenlinien einfach dem Abstand von der Nullinie proportional. Für diejenige Teilbande, für welche Anfangs- und Endzustand das Oszillationsquant null haben, fallen die Nullinien von vornherein praktisch zusammen.

Eine genauere im Anschluß an die Born-Hückelsche Bandentheorie abgeleitete Formel für die gleichzeitige Änderung von Oszillations- und Rotationsterm ist neuerdings anläßlich einer Diskussion der $CuH$-Banden von H. Bell (8) angegeben worden, doch kann auf ihre Wiedergabe verzichtet werden, da die Genauigkeit des Beobachtungsmaterials zu ihrer Anwendung nicht ausreicht.

Der 1. Nachweis des Isotopeneffekts beim Rotationsterm gelang R. S. Mulliken bei der Analyse der oben erwähnten $BO$- bzw. $BN$-Banden. Für $\varrho^2$ ergibt sich ein Wert von 1,0587, während die Theorie für $BO$ als Träger 1,0593, für $BN$ 1,0560 verlangt, so daß auch hieraus eine größere Wahrscheinlichkeit für $BO$ folgt.

Die von R. Frerichs (9) und E. Bengtsson (10) gemessenen $CuH$-Banden zeigen ebenfalls Dublettstruktur. Diese wurde zwar anfangs von Frerichs als Analogon zur Dublettstruktur der Cyanbanden, also nicht als Isotopeneffekt, gedeutet. Für die Erklärung durch Isotopie spricht nach Mulliken (11) das Fehlen der Dublettstruktur im $R$-Zweig, im Gegensatz zu den Cyanbanden. Es erklärt sich nämlich bei Annahme eines Isotopeneffekts dieses Fehlen aus dem geringen Abstand der Linien des $R$-Zweigs von der Nullinie, so daß die Aufspaltung im Gegensatz zum $P$-Zweig unterhalb der Beobachtungsgrenze liegt. Ferner besteht bei der Bande 4280 Å.-E. eine sehr gute Übereinstimmung zwischen dem beobachteten und dem nach der einfachen Formel

$$\Delta\nu = (\varrho^2 - 1)(\nu_m - \nu_0)$$

berechneten Unterschied, da diese Bande gerade zum Übergang $O \rightarrow O$ des Oszillationsterms gehört. In einer Notiz in den Naturwissenschaften schließen sich Mecke (12) und Frerichs der Erklärung von Mulliken an, warnen aber gleichzeitig vor einer Überschätzung ihrer Meßgenauigkeit.

Eine Übertreibung der Anwendungsmöglichkeiten der Bandentheorie ist zweifellos in 2 Arbeiten von H. Nagaoka u. Y. Sugiura (13), sowie von H. Nagaoka, Y. Sugiura u. T. Mishima (14) enthalten. Nach der erstgenannten Arbeit sollen ein großer Teil der Linien von Atomspektren in Wirklichkeit Bandenlinien von vorübergehend gebildeten Molekeln sein, auf die dann die oben angeführten, nur für Banden geltenden Formeln für die Schwingungszahlendifferenz der Isotopen angewandt werden. Die Zahl der bei einem nicht ganz linienarmen Spektrum vorkommenden Frequenzdifferenzen ist aber so groß, daß rein zufällige Übereinstimmungen zwischen derart gebildeten Differenzen mit solchen, die aus den Isotopenformeln berechnet sind, nicht nur wahrscheinlich, sondern sicher auftreten müssen. Daß ferner sich unter den angeführten Linien altbekannte Serienlinien wie $Li$ 4972 ($2p$—$3s$) und $Li$ 4602 ($2p$—$4d$), sowie einige von K. W. Meißner inzwischen als Lymangeister erkannte ultrarote Neonlinien befinden, beweist am besten die Zufälligkeit der Übereinstimmungen von Rechnung und Beobachtung. Endlich sind die Frequenzen der sichtbaren Linien für die Kernschwingungsfrequenzen von Banden viel zu groß. Diese Theorie erfuhr daher allgemeine Ablehnung.

In der anderen Arbeit, deren Hauptteil übrigens rein experimenteller Natur ist und vor-

zügliche Präzisionsmessungen der Trabanten von Quecksilberlinien, deren Wert unabhängig von jeder Theorie bleibt, enthält, wird über die Entstehung der untersuchten Quecksilberlinien, unter denen sich auch die Resonanzlinie $1S-2p_2$ befindet, eine recht fremdartige Annahme gemacht. Die betreffenden Linien sollen nämlich nicht durch Bohrsche Übergänge zwischen stationären Bahnen, sondern durch Schwingungen im Kern bewirkt werden, in welchem ein Wasserstoffkern quasielastisch an den Kernrest gebunden gedacht wird. Für diese Schwingungen werden dann wieder die für den Oszillationsterm der Bandenspektren entwickelten Formeln angewandt. Auch hierbei muß die Übereinstimmung zwischen den beobachteten und berechneten Differenzen als zufällig angesehen werden, wie besonders scharf G. Runge (15) dargelegt hat.

### 3. Linienspektren.

Die Veränderung der Rydbergzahl beim Übergang vom Spektrum des Wasserstoffs zu dem des ionisierten Heliums zeigt, daß die Mitbewegung des Kerns in Rechnung gesetzt werden muß. Für zwei Isotopen mit den Atomgewichten $A'$ und $A''$ ergibt sich aus der Änderung der Rydbergzahl eine Schwingungszahlendifferenz:

$$\Delta\nu = \nu' - \nu'' = \frac{m}{M}\left(\frac{1}{A''} - \frac{1}{A'}\right)\nu' \qquad (8)$$

($m$ Masse des Elektrons, $M$ Masse des Wasserstoffkerns). Zum leichteren Isotop gehört darnach die kleinere Frequenz. Diese Formel gilt aber, was im Hinblick auf manchen Mißbrauch derselben betont werden muß, nur für Einelektronensysteme; bei Mehrelektronensystemen wird die durch das Leuchtelektron hervorgerufene Mitbewegung des Kerns teilweise durch die Bewegung der andern Elektronen kompensiert, so daß für diese obige Formel eher eine obere Grenze angibt. Bei mittleren Atomgewichten wird die relative Aufspaltung $\frac{\Delta\nu}{\nu}$ aber bereits von der Größenordnung $10^{-6}$, so daß die Aussichten auf eine experimentelle Bestätigung gering sind.

Während zwischen den Spektren von Ionium und Thorium nicht der geringste Unterschied beobachtet werden konnte, gelang es J. Merton (16) und L. Aronberg (17) unabhängig voneinander in guter Übereinstimmung bei den Linien von Bleiisotopen merkliche Unterschiede nachzuweisen; es ist bei der Bleilinie 4058 Å.-E.:

$$\lambda_{\text{Uranblei}} - \lambda_{\text{gew. Blei}} = 0{,}0050 \pm 0{,}0007 \text{ Å.-E.},$$
$$\lambda_{\text{gew. Blei}} - \lambda_{\text{Thoriumblei}} = 0{,}0023 \pm 0{,}0008 \text{ Å.-E.}$$

Ähnliche Unterschiede fand Merton auch zwischen den Linien von gewöhnlichem Thallium und solchem aus Pechblende, doch beurteilt hier Merton selbst die Realität wesentlich skeptischer als bei den Bleilinien. Die bei Blei gefundenen Unterschiede passen dem Vorzeichen nach zu der theoretisch zu erwartenden Änderung der Rydbergzahl, ihre Größe beträgt jedoch etwa das 100fache des zu erwartenden Wertes. Der große Unterschied dürfte daher weniger auf die Verschiedenheit der Kernmasse als auf die Verschiedenheit der Kernstruktur zurückzuführen sein, die sich in verschiedenen Abweichungen des Kernfeldes von dem einer einfachen Punktladung bemerkbar macht. Da wir über die Größenordnung dieser Verschiedenheit noch nichts wissen, rückt eine Erklärung der Trabanten von Spektrallinien durch Isotopen in den Bereich der Möglichkeiten, obwohl ihre Trennung wesentlich größer ist; gleichzeitig wird auch die Hoffnung erweckt, mittels der Trabanten noch isotop-isobare Elemente von stark verschiedenem Kernbau zu untersuchen.

Während in den älteren Arbeiten über die Feinstruktur von Spektrallinien jede schwache, in der unmittelbaren Nachbarschaft einer stärkeren Linie gelegene Spektrallinie als Begleiter (Trabant, Satellit) bezeichnet wird, müssen wir heute, nachdem die Multiplettstruktur zahlreicher Spektren bekannt ist, diejenigen Linien für den vorliegenden Zweck ausscheiden, welche in das normale Serienschema mit den Quantenzahlen $n, k, j$ passen und die wir im Anschluß an die Nomenklatur von Sommerfeld Satelliten nennen wollen. Für die andere Art von Begleitern, die für die Frage der Isotopen allein in Betracht kommt, bleibt dann das Wort Trabant. Über diese Trabanten, insbesondere die der Quecksilberlinien existiert eine umfangreiche Literatur (18). Eine kritische Sichtung des ganzen Materials läßt nun aber mit Sicherheit schließen, daß auch diese Trabanten in keinem direkten Zusammenhang mit den Isotopen stehen. Zur Begründung dieser Behauptung läßt sich folgendes anführen:

1. Nach den Beobachtungen von Aronberg hat die Bleilinie 4058 Å.-E. im Spektrum von Uranblei denselben Begleiter wie im Spektrum von gewöhnlichem Blei.

2. Die Anzahl von Trabanten und die Zahl bekannter Isotopen ist bei den verschiedenen Elementen nicht symbat. Am schwersten wiegt in dieser Hinsicht die Einfachheit der Linien mancher Elemente wie $Zn$ und $Ne$, die sicher Isotopen haben, da die Existenz von Trabanten bei „einfachen" Elementen noch die Möglichkeit isotop-isobarer Atome offen läßt.

3. Nach den Messungen von W. Mohammed, G. Wendt und F. Back sind die Zeemaneffekte der Trabanten von denen der Hauptlinie verschieden und treten bei starken Feldern Paschen-Backeffekte auf.

4. Nach einer Mitteilung in der Nature ist es A. E. Ruark, F. L. Mohler und R. L. Chenault (19) gelungen, aus der Linienaufspaltung die Termaufspaltung der Trabanten zu analysieren. Dabei zeigt es sich, daß die Zahl der Kombinationen größer ist, als wenn es sich um getrennte, den einzelnen Isotopen zugehörige Termsysteme handelte.

Wo mag nun die wirkliche Ursache der Trabanten liegen? Nachdem durch die Ruark-Mohler-Chenaultsche Analyse der Nagaokaschen Messungen gezeigt ist, daß es sich ebenso wie bei den normalen Multipletts um eine Aufspaltung der Terme handelt, ist der interessanten von G. Houston (20) vorgeschlagenen Erklärung, nach der die Linienaufspaltung durch periodische Intensitätsschwankungen während des Emissionsakts — analog einem Tonsender — verursacht sein soll, der Boden entzogen. Formal läßt sich die Hyperfeinstruktur durch Einführung einer neuen Quantenzahl $f$ darstellen. Es fragt sich aber, was der Sinn dieser neuen Quantenzahl ist. W. Pauli jr. (21) nimmt an, daß die Differenzierung der Terme durch verschiedene Einstellungen des Elektronengebäudes zu einer ausgezeichneten Achse im Kern bewirkt sei. Von diesem muß daher, um einzelne diskrete Stellungen zu erhalten, angenommen werden, daß er ein Impulsmoment und damit ein magnetisches Moment besitzt und daß sein Feld das einer Punktladung und eines Quadrupols sei. Gegen diese Hypothese spricht aber, daß die Trabanten bei Uranblei dieselben sind wie bei gewöhnlichem Blei, obwohl der Kern doch sicher verschieden ist. Man müßte annehmen, daß die Unterschiede in dem Kernfeld beim Übergang von einem Isotop zu einem andern klein sind. Ferner müßte sich ein Moment des Kerns beim Durchgang von $\alpha$-Strahlen durch die in Frage stehenden Atome bemerkbar machen. Solange für die Paulische Hypothese experimentelle Unterlagen fehlen, möchte Verf. eher annehmen, daß die Entstehung von Trabanten irgendwie mit der 18er oder 32er Schale als Rumpf zusammenhängt. Solange man nämlich, um keine Verwechslung mit Satelliten befürchten zu müssen, sich auf Spektren beschränkt, deren Struktur bekannt ist, gibt es mit Ausnahme der Paschenschen (22) $4_4$-Terme im $Al^+$-Spektrum, denen auch Ruark, Mohler und Chenault eine Sonderstellung zuschreiben, keinen Trabanten bei einem Element mit einem Rumpf vom Edelgasbau. Auch die besonders viel untersuchte rote Lithiumlinie dürfte ein normales Dublett sein, der von A. S. King (23) und andern Beobachtern gefundene Begleiter in variablem Abstand, dürfte nach den Untersuchungen von T. Royds (24) durch komplizierte Selbstumkehr verursacht sein, während Mc Lennan und D. S. Ainslie (25) mit der Beobachtung eines Quartetts bei dieser Linie allein dastehen. Das chemische Verhalten der Elemente mit 18er Schale ist auch von dem der in derselben Spalte stehenden Elemente mit Edelgasrumpf so verschieden, daß ein Unterschied im Spektraltyp sehr wahrscheinlich ist. Besonders interessant wäre von diesem Gesichtspunkt die noch nicht untersuchte Feinstruktur der Goldlinien, bei denen in Analogie zum Quecksilber eine große Trabantenzahl zu erwarten ist.

Wenn die Kernstruktur sich wirklich in einer Änderung der Wellenlänge bemerkbar macht, ist zu erwarten, daß sich ein derartiger Effekt bei den Röntgenspektren in erhöhtem Maße zeigt, da ja die bei ihrer Entstehung beteiligten Elektronen dauernd dem Kern nahe sind. Indes fanden C. D. Cooksey und D. Cooksey durch Vergleich der $La_1$-Linie von Uranblei und gewöhnlichem Blei keinen Unterschied, der größer als 0,06 X.-E. gewesen wäre, was einem relativen Unterschied von 0,005 Proz. entspricht.

## Nachtrag bei der Korrektur.

Inzwischen ist eine Arbeit von A. H. Pfund (27) erschienen, in welcher der Verfasser aus der Tatsache, daß die Zahl der Maxima selektiver ultraroter Reflexion bei $KCl$ und $KBr$ 2, bei $KJ$ dagegen nur 1 beträgt, den Schluß zieht, daß die Maxima der Reststrahlen für die beiden Isotopen von $Cl$ und $Br$ verschieden sind. Da der Unterschied in den Wellenlängen der beiden Maxima viel größer ist, als der Gang der Wellenlängen mit dem Atomgewicht in der Reihe $KCl$, $KBr$, $KJ$ erwarten läßt, wird auf eine Wirkung der Kernstruktur geschlossen. Eine solche Wirkung ist indes gerade bei den Schwingungen des Ionengitters am allerwenigsten zu erwarten. Außerdem spricht ganz entschieden gegen die Erklärung durch Isotope die Tatsache, daß das Intensitätsverhältnis der beiden Maxima bei $KCl$ und $NaCl$ gerade entgegengesetzt ist, so daß man entgegen allen bisherigen Erfahrungen annehmen müßte, daß das Mischungsverhältnis der Isotopen in den beiden Kristallen verschieden ist.

## Zusammenfassung.

A. Bei Bandenspektren kann der Isotopeneffekt sowohl im Oszillations- als im Rotationsterm als sicher nachgewiesen an-

gesehen werden. Seine Größe gibt in manchen Fällen Aufschluß über die Träger der Spektren, insbesondere zeigt es sich so, daß bei den Bandenspektren der Metalle die Hydride besonders häufig als Träger fungieren.

B. In den Linienspektren wurde bisher nur im Fall der Bleiisotopen eine kleine Wellenlängendiffereuz beobachtet, die aber immerhin für eine Erklärung durch Änderung der Rydbergzahl zu groß ist und auf eine Wirkung der Kernstruktur hinweist.

C. Ein direkter Zusammenhang zwischen den Trabanten von Spektrallinien und den Isotopen besteht nicht.

### Literaturverzeichnis.


1) A. Kratzer, Zeitschr. f. Phys. **3**, 460, 1920; A. Haas, Zeitschr. f. Phys. **4**, 68, 1921.
2) F. W. Loomis, Astrophys. Journ. **52**, 248, 1920.
3) R. S. Mulliken, Nature **113**, 423, 1924.
4) E. S. Imes, Astrophys. Journ. **50**, 251, 1919.
5) L. Grebe u. H. Konen, Physik. Zeitschr. **22**, 546, 1921.
6) W. Jevons, Proc. Roy. Soc. (A) **91**, 120, 1915.
7) —, ebenda (A) **89**, 187, 1913.
8) H. Bell, Phil. Mag. **49**, 23, 1925.
9) R. Frerichs, Zeitschr. f. Phys. **20**, 170, 1923.
10) E. Bengtsson, Zeitschr. f. Phys. **20**, 229, 1923.
11) R. S. Mulliken, Nature **113**, 489, 1924.
12) R. Mecke u. R. Frerichs, Naturw. **12**, 812, 1924.
13) H. Nagaoka u. Y. Sugiura, Jap. Journ. of Phys. **2**, 167, 1924.
14) — u. T. Mishima, Jap. Journ. of Phys. **2**, 121, 1924.
15) C. Runge, Nature **113**, 781, 1924.
16) R. Merton, Proc. Soc. (A) **91**, 198, 1915; **96**, 388, 1920; **100**, 84, 1921.
17) L. Aronberg, Astrophys. Journ. **27**, 96, 1918.
18) Vgl. insbesondere Janitzki, Ann. d. Phys. **19**, 36, 1906; **29**, 833, 1909; W. Mohammed, Ann. d. Phys. **39**, 225, 1914; G. Wendt, Ann. d. Phys. **37**, 535, 1912.
19) F. Ruark, F. L. Mohler u. R. L. Chenault, Nature **114**, 575, 1924.
20) G. Houston, Edinbourgh Proc. **36**, 199, 1916.
21) W. Pauli jr., Naturw. **12**, 742, 1916.
22) F. Paschen, Ann. d. Phys. **71**, 537, 1923.
23) A. S. King, Astrophys. Journ. **44**, 169, 1916.
24) T. Royds, Proc. Roy. Soc. (A) **107**, 360, 1925.
25) J. C. Mc Lennan u. D. S. Ainslie, Proc. Roy. Soc. (A) **101**, 342, 1922.
26) G. D. Cooksey u. D. Cooksey, Phys. Rev. **11**, 327, 1920.
27) A. H. Pfund, Proc. Nat. Ac. America **11**, 41, 1925.


Jena, Physikalisches Institut, März 1925.

(Eingegangen 13. März 1925.)

## BESPRECHUNGEN.

**L. Lichtenstein. Neuere Entwicklung der Theorie partieller Differentialgleichungen zweiter Ordnung vom elliptischen Typus.** Gr. 8⁰. 56 S. Sonderausgabe aus Enzyklopädie der Mathematischen Wissenschaften, Bd. II. Leipzig und Berlin, B. G. Teubner, 1924.

Als Referent im Jahre 1899 sein Enzyklopädiereferat über Randwertaufgaben bei partiellen Differentialgleichungen verfaßte, stand die Entwicklung dieses Gebietes in ihren Anfängen. Die Hauptfortschritte setzten erst ein im zeitlichen, und wie Referent sich schmeichelt, auch im ursächlichen Zusammenhang mit jenem Referat, als Hilbert die Randwertaufgaben in die Sprache der Integralgleichungen umgoß. Eine neue Bearbeitung dieses Gebietes war daher notwendig.

Herr Lichtenstein, der in den letzten Jahren die strengen Approximationsmethoden mit besonderem Erfolg ausgearbeitet hat, war der gegebene Mann für die Neubearbeitung und hat sich seiner Aufgabe mit gewohnter Energie unterzogen.

Das Interesse der Darstellung beruht auf der mathematischen Strenge und Lückenlosigkeit der Existenzbeweise. Auf die praktischen Bedürfnisse des Physikers nehmen die hier geschilderten Integrationsmethoden naturgemäß keine Rücksicht. Andererseits darf betont werden, daß gerade diese Methoden ihren Ursprung aus der mathematischen Physik nicht verleugnen. Es sind im Grunde erweiterte Methoden der Potentialtheorie, in denen z. B. der Greensche Satz und die Greensche Funktion eine hervorstechende Rolle spielen. Oder es handelt sich um eine möglichst weitgehende Verallgemeinerung und Verschärfung der von den schwingenden Membranen her bekannten Sätze über Eigenwerte und Eigenfunktionen.

Der Artikel beschränkt sich nicht auf lineare partielle Differentialgleichungen, sondern greift auch die viel schwierigeren nichtlinearen Probleme an.

A. Sommerfeld.

**F. Auerbach, Die Methoden der theoretischen Physik.** 8⁰. X u. 436 S. Mit 150 Figuren. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft. 1925. M. 13.—, geb. M. 15.—.

Das Buch ist für den Studenten als Vorbereitung und als Einführung in die theoretische Physik geschrieben. Der Verfasser stellt sich die dankenswerte Aufgabe, eine Brücke von der reinen Mathematik, wie sie der Student in den ersten Semestern lernt, zu den Anwendungen in der theoretischen Physik zu bauen, und ich glaube, daß der in dem Buche eingeschlagene Weg vielen Studierenden das Eindringen in die theoretische Physik erleichtern wird. Nach allgemeinen Ausführungen in den ersten zwei Kapiteln behandelt das dritte Kapitel Anwendungen der Elementarmathematik in der Physik, unter anderem die Verwendbarkeit diaphantischer Gleichungen beim Abbeschen Dilatometer. Das vierte Kapitel soll in Kürze die wichtigsten Resultate der Differenzen-Differential- und Integralrechnung in Erinnerung bringen, den Abschluß des Kapitels bilden eine erste Einführung der Kugelfunktionen, Zylinderfunktionen und der elliptischen Funktionen, sowie ein ganz kurzer Bericht über die ersten Elemente der analytischen Funktionen. In Kapitel V wird das Notwendigste über gewöhnliche Differentialgleichungen gebracht, im Mittelpunkt stehen hier naturgemäß die Schwingungsgleichungen. Kapitel VI, das umfangreichste, ist den

partiellen Differentialgleichungen gewidmet; zunächst werden die Saitenschwingungen und Wärmewellen in bekannter Weise besprochen, dann einiges über die Potentialgleichung gebracht (Methode der Spiegelbilder und der konformen Abbildung), schließlich wird die schon früher eingeführte Zerlegungsmethode der partiellen Differentialgleichungen weiter ausgebaut, wobei die Bedeutung der Kugelfunktionen und Besselschen Funktionen klar hervortritt. In Kapitel VII leitet der Greensche Satz zu Integralgleichungen und anderen Funktionalgleichungen über, Kapitel VIII entwickelt die statistischen Methoden. Das letzte Kapitel bringt gleichsam als Nachtrag einige Ausführungen über graphische Methoden zur Auswertung von Integralen und zur Auflösung von Gleichungen sowie die Elemente der Vektorrechnung.

Das vorliegende Buch ist aus Vorlesungen entstanden, die der Verfasser seit 20 Jahren hielt. Es drückt sich diese Tatsache in der guten Lesbarkeit des Buches aus und so kann das Werk dem jungen Studenten warm empfohlen werden. E. Hilb.

**P. Walden, Das Leitvermögen der Lösungen.** Gr. 8°. I. Teil: IX u. 383 S., II. Teil: VI u. 346 S., III. Teil: V u. 397 S. m. 64 Fig. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft. 1924. M. 64.—, geb. M. 71.—.

In dem vorliegenden Band des Handbuches der allgemeinen Chemie ist mit dem Streben nach Vollständigkeit ein enormes Material gesammelt, das in erster Linie zwar für den Physikochemiker von Bedeutung ist, aber auch vieles enthält, was den Physiker angeht; sei es auch nur die zum Überfluß erwiesene Tatsache, wie fruchtbar die Anwendung einer nach Form und Leistung klassischen physikalischen Messungsmethode werden kann. Das Werk Waldens stellt eine neue außerordentliche Leistung des unermüdlichen Verfassers dar und wird der Grundstock für die lexikalische Registrierung des unheimlich anschwellenden Versuchsmaterials bleiben. Das Methodische, als für den messenden Physiker Interessanteste, ist dem Charakter des Werkes entsprechend nur kurz zu Anfang behandelt, obwohl sich auch hier die Literatur der neueren Verbesserungen ziemlich vollständig findet. Dieses Gebiet wird also nach wie vor dem „Kohlrausch-Holborn" vorbehalten bleiben. Die Behandlung des Stoffes ist flüssig und in die Form von Monographien über die Teilfragen gebracht, so daß zum Vorteil des Lesers Wiederholungen nicht gescheut werden. An manchen Stellen hätte man sich eine tiefer eindringende Kritik der theoretischen Tragweite wünschen können, die den experimentellen Tatsachen zugesprochen werden kann. Genannt seien in dieser Beziehung die Abschnitte über Überführungszahlen und den Dissoziationsgrad. Das Bedürfnis nach einer kritischen Analyse ist bei dem Vordringen der neueren elektrostatischen Ionentheorie um so größer, als die von der klassischen Theorie gebildeten und einer Generation von Forschern in Fleisch und Blut übergegangenen Begriffe und Denkschemen teilweise ihre Bedeutung wechseln bzw. verlieren. Nach den mehr allgemeinen Kapiteln des ersten Teiles (z. B. Einfluß von physikalischen Faktoren auf das Leitvermögen, Ionenchemie, Überführungszahlen, Kohlrauschs Gesetz) enthält Teil II die tabellarische Zusammenstellung der Messungen in allen Lösungsmitteln und bei allen Temperaturen, während Teil III wichtige spezielle Fragen behandelt. Ein gutes Register gibt dem Werk besondere Brauchbarkeit als unentbehrliches Nachschlagebuch. Die gesicherte Fortführung derartiger auf Vollständigkeit angelegter Sammlungen größerer Tatsachengebiete scheint eine wichtige Aufgabe der wissenschaftlichen Organisationen zu sein.

L. Ebert.

**Dionys von Milhály, Das elektrische Fernsehen und das Telehor.** Durchgesehen und mit einem Vorwort von Dr. E. Nesper. gr. 8°. 114 S., 71 Abb. Berlin, M. Krayn. 1923.

Das Buch gibt eine sehr anschauliche Schilderung zunächst der Versuche der letzten 20 Jahre — vom Kornschen Bildtelegraphen angefangen —, das Problem des Fernsehens zu lösen. Die kritische Darstellung bildet die Einführung in die eigenen Versuche des Verfassers, dem es trotz sehr erschwerter Arbeitsverhältnisse mit verhältnismäßig primitiven Mitteln gelungen ist, die problematischen Schwierigkeiten des Fernsehens prinzipiell zu beseitigen. Es ist ihm auch mit dem letzten seiner primitiven Apparate geglückt, das Fernsehen in der einfachsten Form zu verwirklichen (S. 100). Die noch zu überwindenden Schwierigkeiten sind — im Gegensatz zu früheren Versuchen — nicht prinzipieller, sondern mehr technischer Natur (Lichtquellen genügender Intensität, lichtstarker Objektive usw.). Sein Hauptverdienst besteht darin, daß er die Konstruktionselemente des Fernsehens, die Selenzellen mit ausreichend kleiner Trägheit, die Ausbildung des Schleifenoszillographen mit genügender Empfindlichkeit bis annähernd 100000/sec Schwingungsfähigkeit und als wichtigstes seine Synchronisierungseinrichtung durchbildete. Mittelst dieser Einrichtungen ist es möglich, ein Bild von 10 mal 10 cm in Streifenelemente von 1/100 mm Breite zu zerlegen, d. h. eine Feinheit der Bildzeichnung zu erhalten, die beträchtliche Vergrößerungen zuläßt. — In welcher Form nun bei der endgültigen Ausführung des „Telehors" Schwierigkeiten auftreten werden, bleibt dahingestellt, jedenfalls kann das Buch dem Physiker empfohlen werden, den eine kurze, klare Darlegung aller Lösungsversuche des Problems in diesem Jahrhundert interessiert und den die Verfolgung der Gedankengänge eines Erfinders von Anfang an bis zum Erfolg zu fesseln vermag.

A. Goetz.

**H. Weyl, Mathematische Analyse des Raumproblems.** 8°. VII u. 117 S. Berlin, J. Springer. 1923. Geh. M. 5.—.

Diese kleine Monographie ist in gewissem Sinne eine Ergänzung zu Weyls bekanntem Buche: „Raum, Zeit, Materie". Entstanden ist sie aus acht Vorlesungen, die Weyl 1922 in Barcelona und Madrid gehalten hat. Diese nehmen etwa die Hälfte des Buches ein; die zweite Hälfte wird durch zwölf Zusätze gebildet, in denen gewisse, in den Vorlesungen nur angedeutete tieferführende mathematische Fragen behandelt werden. Hervorzuheben sind besonders die Zusätze 3 und 8, die in ausgezeichneter Klarheit einen Abriß der Integrabilitätstheorie totaler Differentialgleichungen und der Lieschen Theorie kontinuierlicher Transformationsgruppen bringen. Die Vorlesungen selbst zerfallen in drei Gruppen. Die erste einleitende Vorlesung steht für sich. Sie spitzt die mathematische Analyse des Raumproblems zu auf die Untersuchung der Raumstruktur und zeigt, wie in der Mathematik aus dem Kontinuum der reellen Zahlenquadrupel $x_0\ x_1\ x_2\ x_3$ vermöge der Begriffe der geraden Linie und des Nullelements die Euklidisch-Minkowskische Welt hervorgeht. Die zweite bis vierte Vorlesung sind der Infini-

tesimalgeometrie gewidmet. Unter ausgiebiger Heranziehung des Begriffes der Parallelverschiebung werden die Riemannsche und die darüber hinausgehende Weylsche Geometrie, in der auch die Längen nicht mehr fernvergleichbar sind, aufgebaut. Diese drei Vorlesungen haben viele Berührungspunkte mit den entsprechenden Abschnitten in „Raum, Zeit, Materie". Den Höhepunkt des Buches bildet die gruppentheoretische Analyse des Raumproblems in der 5. bis 8. Vorlesung. Es wird gezeigt, daß die in der wirklichen Welt auf Grund einer nicht ausgearteten quadratischen Differentialform herrschende Metrik in gewissem Sinne einzig ist.

Bei einem Verfasser wie Weyl braucht kaum besonders hervorgehoben zu werden, daß alle Fragen in tiefgründiger und dabei doch übersichtlicher und ästhetisch befriedigender Form behandelt werden. Die Lektüre des sorgfältig ausgestatteten Buches ist ein Genuß. R. Courant.

**J. Rosenthal, Praktische Röntgenphysik und Röntgentechnik.** 2., umgearbeitete Auflage. 8°. 256 S. Mit 245 Abb. u. 5 Tafeln. Leipzig, J. A. Barth. 1925. Geb. M. 17.—

Es muß als ein sehr glücklicher Griff bezeichnet werden, daß aus dem dreibändigen „Rieder-Rosenthalschen Lehrbuch der Röntgenkunde" die Kapitel „Praktische Röntgenphysik" und „Röntgentechnik" als Sonderabdruck herausgegeben und so einem weiteren Kreise von Interessenten zugänglich gemacht wurden.

Der erste Teil gibt zunächst, von der Laueschen Entdeckung ausgehend, einen Bericht über die Röntgenspektrographie, alsdann über die Entstehung der Röntgenstrahlen und die Wirkungsweise der Röhrentypen, über die Eigenschaften der R. Str., insbesondere ihre Absorbierbarkeit und ihre physikalischen und chemischen Wirkungen. Sehr ausführlich werden die Eigentümlichkeiten der Röntgenbilder und die technischen Mittel zur Erzielung möglichst scharfer und kurzzeitiger Aufnahmen erörtert.

Der zweite, umfangreichere, Teil erläutert in sehr gründlicher, das Neueste berücksichtigender und kritisch vergleichender Weise 1. die verschiedenen Methoden der Hochspannungserzeugung, 2. die Röhrentypen und ihre speziellen Ausführungen und gibt 3. eine reichhaltige Übersicht über die für den Mediziner notwendigen Hilfsapparate.

Das Werk ist höchst anziehend und fesselnd durch die historisch orientierte Darstellung: An vielen Stellen des Buches bekommt der Leser die Forscher und Erfinder mit ihren eigenen Worten in gut kenntlichen Zitaten zu hören — der Abschnitt über Absorption z. B. schließt sich eng an Röntgens Arbeiten an — und findet viele Hinweise und Literaturangaben. Natürlich kehrt das Buch den Zweckmäßigkeitsstandpunkt besonders hervor: Der Vergleich von Methoden und Apparaten erfolgt stets nach dem Gesichtspunkt des Verwendungszwecks und der Wirtschaftlichkeit, die physikalische Erläuterung geht Hand in Hand mit der Besprechung der einschlägigen Instrumente, die noch nicht oder noch unvollkommen gelösten Aufgaben werden als solche scharf umrissen. In diesem Zusammenhange wird ohne weiteres deutlich, daß der Verfasser an der Entwicklung der Röntgentechnik selber einen wesentlichen Anteil hat. Schließlich sei bemerkt, daß sich das Werk durch eine Fülle trefflicher Abbildungen auszeichnet. E. Nies.

**Bucky, G., Die Röntgenstrahlen und ihre Anwendung.** (Aus Natur und Geisteswelt, Bd. 556.) 2., verm. und verb. Aufl., kl. 8°. IV u. 120 S. Mit 95 Abb. im Text und auf 4 Tafeln. Leipzig u. Berlin, B. G. Teubner. 1924. Geb. M. 1.60.

Das fesselnd und unterhaltend geschriebene Büchlein behandelt auf engem Raum in leichtfaßlicher Weise die wichtigsten physikalischen Voraussetzungen für das Verständnis der Röntgenapparate, berichtet sodann über die verschiedenen Röhrentypen und das für ihren Betrieb notwendige Zubehör. Die Natur der Röntgenbilder wird erörtert und die in der Medizin wichtigen Hilfsapparate zu ihrer Verbesserung besprochen. Schließlich wird über die Anwendung der Röntgenstrahlen in der Medizin und in anderen Gebieten eine Übersicht geboten.

Das Werkchen ist vom Standpunkt des praktischen Röntgenarztes geschrieben und vor allem für den Mediziner von Interesse. Der Physiker hätte manchen Einwand zu machen, doch muß er durchweg ein erfreuliches Streben nach physikalisch begründender Darstellung anerkennen. E. Nies.

## Personalien.

(Der Herausgeber bittet die Herren Fachgenossen, der Schriftleitung von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

**Habilitiert:** An der Universität München Dr. Richard Kuhn für Chemie, an der Technischen Hochschule Berlin Dr. Ing. Adalbert Löwenbein für organische Chemie, an der Universität München Dr. Fr. Reindel für organische Chemie, an der Technischen Hochschule Dresden Dr. Friedrich Müller für Elektrochemie und physikalische Chemie, an der Technischen Hochschule Wien Dr. Franz Halla für physikalische Chemie.

**Ernannt:** Der Professor der Chemie an der Universität Frankfurt Dr. Burckhardt Helferich zum ord. Professor der Chemie an der Universität Greifswald, der Privatdozent der Physik an der Universität Berlin Dr. Gustav Hertz (zurzeit nach Holland beurlaubt) zum nichtbeamteten a. o. Professor ebenda, der a. o. Professor an der Universität Kiel Dr. Paul Horrmann zum ord. Professor der pharmazeutischen Chemie an der Technischen Hochschule Braunschweig.

## Gesuche.

**Experimentalphysiker,**

langjähriger, wissenschaftlicher Assistent, vertraut mit Röntgenspektrographie und Hochvakuum, sowie elektrotechnisch wohl erfahren, sucht Stellung in Industrie. Angebote unter **S. H. 637** an den Verlag der Physikalischen Zeitschrift (S. Hirzel) in Leipzig, Königstraße 2, erbeten.

Für die Schriftleitung verantwortlich Prof. Dr. F. Harms in Würzburg. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.

# MAX KOHL A.G.

## Physikalische Apparate

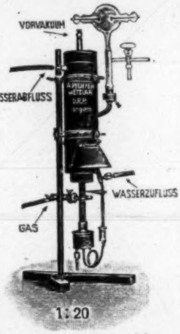
Demonstrations - Rundfunk - Empfangs -Apparate
Oelluftpumpen und Gebläse
Längen- und Kreisteilmaschinen
Komparatoren ✳ Funkeninduktoren
Megadiaskope ✳ Verdunkelungen
Experimentier-Schalttafeln
Laboratorienmöbel

**Max Kohl A.-G. Chemnitz 4**
Gründungsjahr 1876

Der Kauf von physikalischen Apparaten ist Vertrauenssache!

# Pfeiffer's

Quecksilber-Dampfstrahlpumpe
ganz aus Stahl D. R. P. angem.

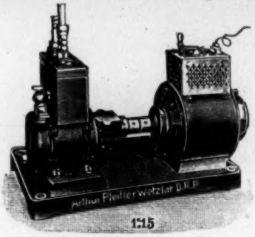


1:20

**15 Liter bis zum Aussetzen jeder Entladung in 10 Sek. vom Vorvakuum ab.**

*Listen von Abt. H anfordern.*

Vgl. Techn. Physik 1922, Heft 12. Phys. Ztschr. 1922, pag. 463.



1:15

Rot. Kammer-Öl-Luftpumpe D. R. P.

**Hochvakuum-Pumpen**, Vakua bis $^1/_{1\,000\,000}$ mm Hg.
Saugleistung bis 120 cbm per Stunde

**Photometer** aller Systeme

**Öl-Prüfapparate, Schnellviskosimeter** usw.

**Funken-Induktoren** bis 1000 mm Funkenlänge

**Oscillographen**

## Arthur Pfeiffer

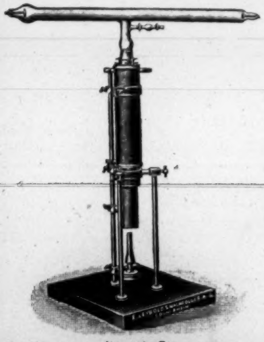
**Wetzlar 8**

Telegr. Vakupfeif. — Tel. 85 u. 86.

# Neue Hochvakuum-Diffusions-Pumpe aus Metall

**nach Prof. Gaede**

D.R.P. und Auslandspatente



1/[illegible] nat. Gr.

**Saugleistung: 15 Liter per Sek.**

**Vorvakuum: 20 mm**

„Vergl. Zeitschrift für Technische Physik, Jahrg. 1923. Nr. 10"

Alleinige Hersteller

## E. Leybold's Nachfolger A.-G.

**Köln a/Rhein, Brüderstr. 7**

Sonderliste auf Wunsch


Für den Anzeigenteil verantwortlich S. Hirzel in Leipzig. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.